

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

# **Povrchové úpravy střižného nástroje**

## **Surface Treatment of Shear Pin Tools**

Jméno studenta :

Martin Honig

Vedoucí bakalářské práce :

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Honig**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Povrchové úpravy střížného nástroje  
Surface Treatment of Shear Pin Tools

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu povrchové úpravy střížného nástroje.
2. Prostudujte vliv povrchové úpravy na opotřebení a životnost nástroje.
3. Prostudujte vliv mazacích prostředků na vlastnosti povrchové úpravy.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
6. Zpracujte technickou zprávu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

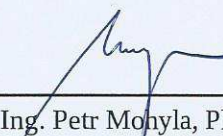
BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.  
FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T.: *Konstrukční oceli*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, Brno, 1996. 261 s. ISBN 80-85867-95-8


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 12.12.2014  
Datum odevzdání: 18.05.2015



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 12.5.2015

Martin Honig

Martin Honig



### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 12.5.2015 .....

 .....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Honig

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sobáčov 64

78321 Chudobín

## **Anotace bakalářské práce**

HONIG, M.: *Povrchové úpravy střižného nástroje*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 82 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Tato bakalářská práce pojednává o nejvýhodnější povrchové úpravě pro střižné nástroje, které se využívají při dělení tenkostěnných otevřených profilů ve firmě KVARTA LITOVEL, a. s.. Nejvýhodnější povrchová úprava potom musí dosahovat minimálního opotřebení a maximální kvality střižné plochy. Práce se skládá ze dvou hlavních částí, a to části teoretické a praktické. V teoretické části jsou popsány obecné poznatky z oblasti dělení tenkostěnných profilů. V této části je popsán i současně používaný střižný nástroj, dále navrhované povrchové úpravy a metodika experimentálních prací. V části praktické budou poté záznamy o provedených testech a zkouškách. Na závěr bude vyhodnocena nejvýhodnější povrchová úprava střižného nástroje.

## **Annotation of bachelor thesis**

HONIG, M.: *Surface Treatment of Shear Pin Tools*. Bachelor thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 82 p. Thesis head: Jitka Podjuklová, Prof. Assoc. PhD MSc.

The bachelor thesis deals with the most advantageous surface treatment for shear pin tools that are used for division of thin-walled open profiles in the company KVARTA LITOVEL, a. s. (joint-stock company). The most advantageous surface treatment has to achieve of minimum wear and maximum quality of cutting surface. The thesis is divided into two parts – theoretical and practical. In the theoretical part is described general knowledge from the branch of division of thin-walled profiles. In this part, there is described share pin tools currently used and intended surface treatments and a methodology of experimental work. In the practical part, there will be records about executed tests. Finally I will evaluate the most advantageous surface treatment of share pin tools.

## **Obsah**

<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>1 O společnosti KVARTA LITOVEL, a.s.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Výroba tenkostěnných otevřených profilů .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Dělení tenkostěnných profilů .....</b>	<b>12</b>
3.1 Dělení řezáním .....	13
3.2 Dělení stříháním .....	14
3.3 Kvalita střížné (řezné) plochy .....	15
3.4 Dělený materiál .....	16
<b>4 Současně používaný střížný nástroj .....</b>	<b>17</b>
4.1 Umístění dělicí jednotky na profilovací lince .....	17
4.2 Materiál střížných nástrojů.....	18
<b>5 Povrchová úprava střížných nástrojů.....</b>	<b>20</b>
5.1 Broušený povrch .....	20
5.2 Lapovaný povrch.....	23
5.3 Povlakovaný povrch PVD povlakem .....	24
<b>6 Mazivo používané při dělení stříhem .....</b>	<b>27</b>
6.1 Hlavní účel maziva.....	27
6.2 Současně používané mazivo .....	27
<b>7 Střížná vůle.....</b>	<b>28</b>
7.1 Stanovení střížné vůle .....	29
<b>8 Metodika experimentálních prací .....</b>	<b>30</b>
<b>9 Experimentální práce .....</b>	<b>32</b>
9.1 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4278 .....	32
9.2 Posouzení kvality střížné hrany .....	48
9.3 Měření tloušťky PVD povlaku .....	50
9.4 Měření adheze PVD povlaku .....	51
9.5 Stanovení kvality střížné plochy děleného profilu.....	52
<b>10 Ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>59</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>60</b>

<b>Citovaná literatura .....</b>	<b>64</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>67</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>69</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>71</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>72</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Popis	Jednotka
ČSN	Česká státní norma	-
EN	Evropská norma	-
ISO	Mezinárodní norma	-
DIN	Německá technická norma	-
IT	Stupeň přesnosti	-
PVD	Fyzikální metoda napařování povlaků	-
HSS	Rychlořezná ocel	-
HB	Tvrdost podle Brinella	-
HRC	Tvrdost podle Rockwella	-
$R_{p0,2}$	Mez kluzu v tahu	MPa
$R_m$	Pevnost v tahu	MPa
A	Tažnost	%
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu	$\mu\text{m}$
Rp	Největší výška výstupku profilu	$\mu\text{m}$
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu	$\mu\text{m}$
Rz	Největší výška profilu	$\mu\text{m}$
Rq	Průměrná kvadratická úchylka profilu	-
Rsk	Šikmost profilu	-
Rku	Špičatost profilu	-
C	Uhlík	-
Mn	Mangan	-
P	Fosfor	-
S	Síra	-
Si	Křemík	-
Al	Hliník	-
Ti	Titan	-
N	Dusík	-
Cr	Chrom	-
Mo	Molybden	-
V	Vanad	-



## Úvod

V dnešní době je co nejvíce kladen důraz na to, aby se nástroje využívané ve strojírenství a dalších oborech vyznačovaly co největší životností, a současně práce, kterou vykonávají odpovídala těm nejvyšším kvalitám. Těmto požadavkům se potom můžeme přiblížit tím, že nástroj bude vyroben z vhodného materiálu a i jeho povrch bude adekvátně zpracován.

Tato bakalářská práce se zabývá již výše zmíněnou problematikou, kdy jejím cílem bude stanovit povrchovou úpravu střižného nástroje, která bude vykazovat nejmenší opotřebení nástrojů se současně nejvyšší jakostí střižné plochy. Posuzované střižné nástroje se využívají při odpadovém dělení tenkostěnných profilů, které probíhá letným způsobem dělení ve společnosti KVARTA LITOVEL, a. s.. Celkový střižný nástroj je v tomto případě složen ze dvou střižnic a jednoho střižníku, který vykonává hlavní pohyb.

Práce je rozdělena do dvou částí. V první části, teoretické, je na začátku popsána společnost KVARTA LITOVEL, a. s., ve které probíhalo testování střižných nástrojů. Dále je zde popsáno jakými způsoby může výše zmiňované dělení tenkostěnných profilů probíhat. V teoretické části je také podrobněji popsáno dělení střihem s charakteristikou děleného materiálu. Následně je popsán současně používaný střižný nástroj, konkrétně materiál tohoto nástroje. Dále je zde kapitola pojednávající o povrchových úpravách na daných nástrojích, která obsahuje rozbor současné povrchové úpravy a současně také informace o navržených povrchových úpravách. V této části je též zmíněno i současně používané mazivo s jeho vlastnostmi. Závěr teorie je věnován popisu střižné vůle, která má značný vliv nejen na kvalitu střižné plochy, ale i na opotřebení střižných nástrojů.

V praktické části práce jsou pak uvedeny záznamy o provedených experimentálních pracích. Konkrétně jsou zde záznamy z měření drsnosti, které proběhlo v podélném i příčném směru, a to jak na střižnicích, tak i na střižníku. Dále se zde nachází záznamy o měření tloušťky a adheze povlaku. Závěr experimentální části je věnován posuzování kvality střižné plochy, kde se kontrolovala deformace profilu po odstřižení, úhel odstřižení a vzhled střižné plochy.

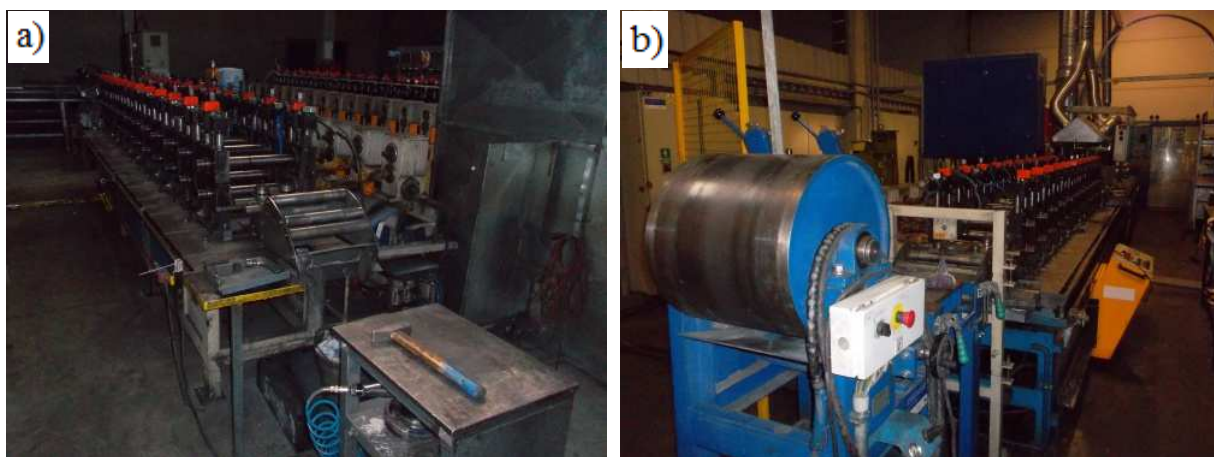
## 1 O společnosti KVARTA LITOVEL, a.s.

Jak bylo výše zmíněno, tak tuto bakalářskou práci jsem zpracovával ve firmě KVARTA LITOVEL, a.s..

Tato firma sídlí na průmyslové zóně Víška nedaleko Litovle. Společnost byla založena v roce 1991 a již od svého založení se zabývá výrobou tenkostěnných profilů z pozinkovaných a černých plechů. Kromě samotné výroby těchto profilů si firma také dělí svitky ocelových plechů podélně, na pásy, potřebné pro výrobu profilů. V roce 2002 se tato společnost stala nositelem certifikátu systému managementu jakosti ČSN EN ISO 9001:2008.[1]

Důležitým rokem se stal rok 2009 kdy 50% firmy odkoupila společnost METAL TRADE COMAX, a.s. a v roce 2010 nakonec došlo k odkoupení zbylých 50%. [1]

Většina produkce této firmy je tvořena výrobou tenkostěnných ocelových pozinkovaných profilů o tloušťce 1 až 3 mm. Tyto profily nachází své uplatnění při výrobě plastových oken a dveří, kde tvoří vnitřní výztuž plastového rámu a křídla. Firma má v současnosti nabídku, která čítá až 200 druhů profilů pro různé okenní systémy. Další značnou část produkce tvoří svařované profily kruhového, čtvercového a obdélníkového průřezu. Zbylou část výroby potom tvoří výroba různých speciálních profilů, například profily pro upevnění dopravních značek nebo sádkokartonu, ale také profily pro automobilní a elektrotechnický průmysl. Tato výroba probíhá na 3 tvarovacích linkách (viz. Obr. 1, a)) a jedné svařovací lince (viz. Obr. 1, b)) ve dvousměnném provozu. Všechny vyráběné produkty si našly své uplatnění v tuzemských firmách a na Slovensku. Značná část produkce se vyváží také do jižní a západní Evropy. [1]



Obrázek 1 - a) Profilovací linka na otevřené profily, b) Svařovací profilovací linka

## 2 Výroba tenkostěnných otevřených profilů

Výroba těchto profilů probíhá ve společnosti KVARTA LITOVEL, a.s. tvarováním za studena, kdy výchozí polotovar tvoří pozinkovaná ocelová páska, jejíž šířka odpovídá rozvinu daného profilu.

Samotné tvarování probíhá na profilovacích linkách s podpěrnými vřeteny. Tyto linky mají válce uloženy v ložiskách na obou stranách a mají poháněny horní i dolní válce. Na tomto profilovacím stroji lze vyrábět profily složitých tvarů, i silnějších stěn. Postup výroby je takový, že dochází k postupnému odvíjení pásy z odvíjecího bubnu, a následně k ohýbání okrajů pásy spodními válci směrem k horním válcům. Během tohoto procesu je nutné využívat chlazení a mazání v podobě emulze, aby bylo zabráněno nadměrnému zahřívání tvarované pásy a nadměrnému otěru především pozinkované vrstvy plechu. Aby celý proces výroby probíhal tak jak má, je nutné pásku přivádět ve správné svislé a vodorovné poloze, což zajišťují naváděcí válečky. V závěrečné části je potom profil kalibrován čtyřmi válci ze všech stran, čímž je zajištěna tvarová a rozměrová přesnost [2]. Na konci linky je následně umístěna tiskárna, která slouží pro tisk popisu profilu a data výroby. Ihned za tiskárnou se potom nachází zařízení, které slouží pro dělení profilů.

Výchozím materiálem při výrobě tenkostěnných profilů je ocelová pozinkovaná páska DX51D+Z100 o požadované tloušťce, která odpovídá síle stěny profilu a šířce. Šířka pásy je potom rovna rozvinu daného profilu a je připravována na dělicím stroji z výchozího polotovaru, kterým je svitek o šířce 1 250 mm. Tomuto materiálu je dále blíže věnovaná kapitola s názvem Dělený materiál.

### 3 Dělení tenkostěnných profilů

Dělení tenkostěnných ocelových profilů bychom mohli rozdělit na dvě kategorie :

1. Dělení řezáním
2. Dělení stříháním

Oba výše uvedené způsoby mohou probíhat jako "letmé" dělení nebo systémem START-STOP.[3]

#### **Letmé dělení**

Při tomto způsobu dochází k dělení profilu za jeho chodu. To znamená, že v okamžiku, kdy má dojít ke stříhu, nebo řezu, je chod linky mírně zpomalen a nástroj jede zároveň s profilem, který současně dělí.

Hlavní výhodou tohoto systému je zvýšení efektivity výroby, kdy nedochází k úplnému zastavení linky, což by mělo za následek zbytečné časové ztráty. Linka, tak může za směnu vyrobít více kilometrů daného profilu.

#### **Systém STAR-STOP**

U tohoto systému dělení dochází k zastavení linky v místě stříhu nebo řezu. Linka je zastavena po dobu, kterou zabere samotné dělení, a poté se znovu rozjede.

Nevýhodou je neustálé zastavování a rozjíždění linky, což vede k časovým ztrátám a nižší efektivitě oproti lince s letmým dělením. Proto se od tohoto systému postupně přechází a je upřednostňován již výše zmiňovaný systém letmého dělení.

### 3.1 Dělení řezáním

Jedná se o třískový způsob dělení strojními pilami, které jsou umístěny na konci výrobní linky.

#### Dělení kotoučovými pilami

Tyto pily jsou nejpoužívanější a pracují na principu letmého dělení nebo systému STAR-STOP, které jsem již zmínil.

Pilové kotouče, které se zde používají jsou nejčastěji celistvé, vyrobené z HSS materiálu. Využívají se ale i kotouče s pájenými břitovými destičkami ze slinutého karbidu, kde je však větší tloušťka kotouče

Při dělení řezáním dosahujeme přesného úhlu řezu a také slušné čistoty řezu. Vzniká zde samozřejmě odpad, který je roven součinu průřezu profilu a šířky kotouče. Nevýhodou tohoto procesu je především hlučnost, a v některých případech i čas.[4]



Obrázek 2 - Pila pro letmé řezání svařovaných profilů



Obrázek 3 - Pila pro letmé řezání otevřených profilů



## **3.2 Dělení stříháním**

### **Charakteristika střížného procesu**

Střížný proces začíná tím, že dochází k vtlačování nože do materiálu. Současně však dochází k odchylce od daného geometrického tvaru a také k deformaci podélných vláken. Při dalším pohybu jsou vlákna natahována a také současně vytlačována do stran, aby se uvolnilo místo pro vniknutí nože. Deformace materiálu je na začátku procesu pružná a při dalším pohybu je materiál namáhán plasticky. Tlakové napětí dosahuje na začátku procesu meze kluzu ve smyku, přičemž vznikají axiální tlakové síly. Tyto síly potom dosahují velikosti třecích sil mezi nástrojem a materiálem. Následně dosahuje tlakové napětí meze pevnosti ve smyku, a se zvyšující se axiální tlakovou silou je způsoben relativní pohyb mezi profilem a nástrojem, který vyvolá smykové prodloužení. V materiálu potom vznikají trhliny vycházející od střížné hrany nože, a pokud je dosaženo optimální vůle, tak na sebe navazují. Tím vlastně dochází k dělení materiálu.[4]

### **Stříhání s odpadem**

Jak již z názvu vyplývá, tak u této technologie vzniká při stříhání odpad. Velikost odpadu je potom závislá na tvaru, rozměru a pevnosti materiálu. Střížný nástroj se zde skládá ze střížníku, který vykonává hlavní pohyb a dvou střížnic, které jsou pevné a mají ve středu vyřezaný tvar průřezu děleného profilu. Tento způsob dělení se používá především v sériové výrobě.[4]

Při dělení otevřených a polouzavřených profilů je dále nutné dbát na to, aby nedocházelo k stříhání svislé stěny, což ovlivníme vhodnou polohou profilu.[4]

Výhodou této technologie je to, že dosáhneme celkem kvalitní střížné plochy, protože deformován je pouze odpad. Naopak nevýhodou tohoto způsobu dělení je cena nástrojů. Cena je totiž ovlivněna tím, že pro každý tvar profilu musí být vyroben nový střížný nástroj.[4]

## **Stříhání bez odpadu**

U této technologie dosahujeme oproti dělení s odpadem o něco horší kvality střížné plochy. Deformace tvaru profilu je závislá především na přesnosti provedení tvaru pevného a pohyblivého nástroje, který se pootáčí okolo svojí osy. Tvar drážky v nástroji je dán tvarem profilu, který je dělen a měl by být přibližně stejný.[4]

Výhodou je nulový odpad, naopak nevýhodou je již zmiňovaná jakost střížné plochy, a samozřejmě i cena nástroje, kdy pro každý druh profilu musí být vyroben další nástroj.



**Obrázek 4 - Zařízení pro dělení otevřených profilů stříhem (pohled od linky)**



**Obrázek 5 - Zařízení pro dělení otevřených profilů stříhem (detailní pohled)**

### **3.3 Kvalita střížné (řezné) plochy**

Přesnost děleného profilu je určována tolerancí délky, úhlovou úchylkou od roviny stříhu nebo od roviny kolmé k ose profilu, dále drsností střížné nebo řezné plochy a také velikosti deformace tvaru profilu oproti tvaru původnímu.[4]

### 3.4 Dělený materiál

Děleným materiálem je ocelová pozinkovaná páska DX51D+Z100 jejíž průřez odpovídá tvaru profilu.

Označení DX51D+Z100 říká, že se jedná o ocelový pás žárově povlakovaný ponorem v roztavené zinkové lázni obsahující nejméně 99% zinku. Tento materiál je vhodný především pro válcování za studena.[5]

Níže uvedené tabulky blíže specifikují chemické složení a mechanické vlastnosti. Chemické složení potom bylo kontrolováno hutním atestem, provedeným v U. S. Steel Košice, s. r. o. (viz. Příloha 1), jehož výsledkem byla shoda materiálu s požadavky objednávky.

Tabulka 1 - Chemické složení DX51D+Z100 [5], [6]

Jakost podle	Chemické složení taveniny v %							
	C <sub>MAX</sub>	Mn <sub>MAX</sub>	P <sub>MAX</sub>	S <sub>MAX</sub>	Si <sub>MAX</sub>	Al	Ti	N <sub>MAX</sub>
DX51D+Z100 EN 10142/2000	0,18	1,20	0,12	0,045	0,50	-	0,30	-
ZINKOHAL 350 U. S. Steel Košice, s. r. .o	0,15	-	0,04	0,04	-	-	-	-

Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti DX51D+Z100 [6]

Jakost podle	Mechanické vlastnosti		
	R <sub>P0,2</sub> (Mpa)	R <sub>m</sub> (Mpa)	A <sub>MIN</sub> (%) L <sub>0</sub> = 80 mm
DX51D+Z100 EN 10142/2000	-	270 - 500	22
ZINKOHAL 350 U. S. Steel Košice, s. r. .o	-	max. 450	23

Velmi důležitým prvkem u žárově povlakovaných ocelových pásů je hmotnost povlaku. Hmotnost povlaku se u žárově zinkovaných plechů udává v g/m<sup>2</sup>. V tomto případě se jedná o materiál DX51D+Z100 a hmotnost zinku je tedy 100 g/m<sup>2</sup>. S hmotností povlaku silně souvisí i tloušťka povlaku, která se vyjadřuje pomocí níže uvedené rovnice (3.4.1). Pro zinkový povlak o hmotnosti 100 g/m<sup>2</sup> je potom tloušťka povlaku rovna zhruba hodnotě 7 μm na jedné straně plechu.[5]

$$\frac{\text{Hmotnost zinkového povlaku v g/m}^2 \text{ (oboustranně)}}{2 \times 7,1 \text{ g/cm}^3 \text{ (hustota zinku)}} = \text{Tloušťka povlaku zinku (μm na jedné straně)} \quad (3.4.1) \quad [5]$$

## 4 Současně používaný střížný nástroj

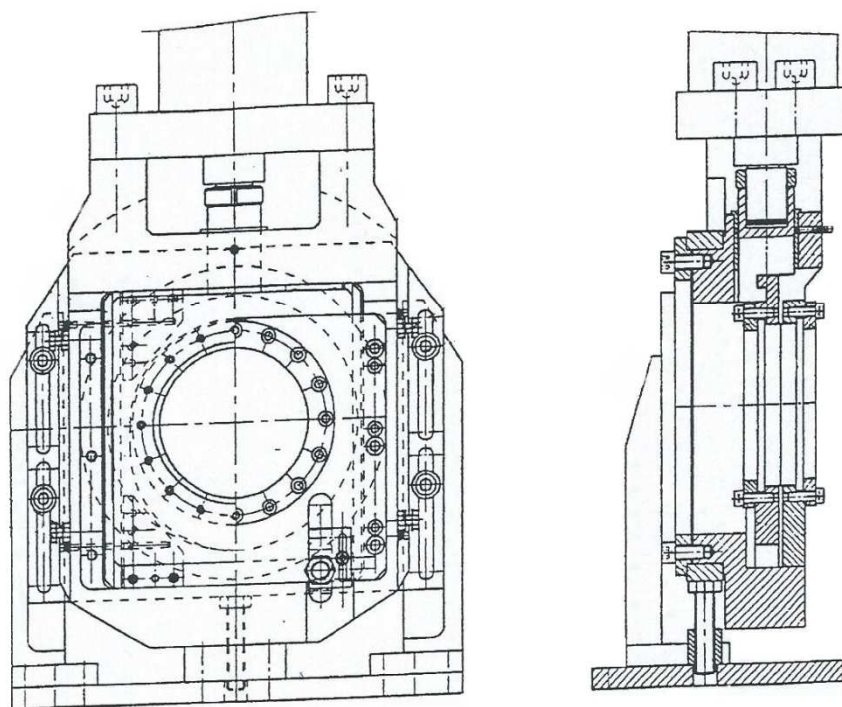
Firma KVARTA LITOVEL, a. s. používá v současnosti pro dělení tenkostěnných profilů odpadové i bezodpadové letmé dělení. O tom zda se využije dělení odpadového nebo bezodpadového rozhoduje především tvar profilu.

Celkový střížný nástroj se potom skládá ze dvou střížnic, kdy jedna je pevná a druhá se lehce pootáčí - jedná se o bezodpadové dělení, nebo dvou pevných střížnic, mezi kterými se pohybuje střížník - odpadové dělení.

### 4.1 Umístění dělicí jednotky na profilovací lince

Posuzovaný dělicí nástroj je umístěn na profilovací lince PZ 380/12. Náhled na tuto linku ukazuje příloha 2. Tato dělicí jednotka je umístěna na vozíku, jehož pohyb zajišťuje kuličkový šroub poháněný servomotorem. Rychlost tohoto vozíku je potom rovna rychlosti děleného profilu ve válcovací části. Samotné dělení je potom prováděno v průvlaku pneumatickým válcem. Poloha dělicí jednotky je samozřejmě výškově i stranově stavitelná, pomocí pohybových šroubů.[7]

Na níže uvedeném obrázku je potom naznačeno používané stříhadlo na profily.



Obrázek 6 - Stříhadlo na profily [7]

## 4.2 Materiál střižných nástrojů

Pro výrobu střižníku a střižnic se používá materiál ČSN 19 573, označovaný také podle německé normy jako W. Nr. 1.2379 nebo DIN X115CrVMo121.

### Charakteristika materiálu

Jedná se o chrom - molybden - vanadovou nástrojovou ocel s velkou prokalitelností, vhodnou pro kalení v oleji a na vzduchu. Tato ocel má vysokou odolnost proti opotřebení, dobrou řezivost, vysokou pevnost v tlaku, ale menší houževnatost, která je však oproti oceli 1.2080 větší. Dále má tato ocel dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování a je také vhodná ke kalení na sekundární tvrdost, je zde tedy možnost nitridování. Nevýhodou je, že se tato ocel obtížně brousí, tváří za tepla a má také o něco ztíženou obrobiteľnosť v žíhaném stavu.[8]

### Použitelnost materiálu

Tento materiál je vhodný především pro střižné nástroje pracující za studena. Nástroje z tohoto materiálu potom vykazují vysokou životnost. Mezi střižné nástroje, které se z tohoto materiálu vyrábějí patří nástroje pro stříhání na lisech, děrování materiálů o malých tloušťkách a vysoké pevnosti (tvarově složité nástroje pro stříhání transformátorových plechů a plechů z nerez oceli) a další nástroje pro dělení stříhem. [8]

### Vlastnosti materiálu

V níže uvedených tabulkách je potom vyznačené chemické složení (viz. Tab. 3) a tvrdost materiálu (viz. Tab. 4)

Tabulka 3 - Chemické složení materiálu ČSN 19 573 [8]

Označení oceli	Chemické složení v %							
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max.	S max.
DIN X155CrVMo121	1,50-1,60	0,15-0,45	0,10-0,40	11,0-12,0	0,60-0,80	0,90-1,10	0,03	0,03
ČSN 19 573	1,40-1,60	0,20-0,45	0,20-0,45	11,0-12,5	0,60-0,95	0,80-1,20	0,03	0,03

Tabulka 4 - Tvrdost materiálu ČSN 19 573 [8]

Označení oceli	Tvrdost ve stavu	
	Žíhaném na měkko HB max.	Zušlechtěném HRC min.
DIN X155CrVMo121	255	59
ČSN 19 573	250	63



## Tepelné zpracování materiálu

Tento materiál se může tepelně zpracovávat podle níže uvedené tabulky (viz. Tab. 5).

Tabulka 5 - Možnosti tepelného zpracování materiálu ČSN 19 573 [8]

Způsob	Teplota [°C]	Postup
<b>Kování</b>	850-1050	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo v suchém popelu nebo v jiném tepelně izolačním materiálu
<b>Žíhání na měkko</b>	830-860	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny, a potom pomalu ochlazovat v peci
<b>Žíhání ke snížení pnutí</b>	600-650	1 až 2 hodiny prohřát a poté pomalu ochlazovat v peci
<b>Kalení</b>	1000-1080	Ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni o teplotě 500-550°C
<b>Popouštění</b>	100-550	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí podle tvrdosti a také houževnatosti nástroje dle popouštěcího diagramu

Střížnice používané firmou KVARTA LITOVEL, a. s. jsou zušlechťené na 60 HRC, což je zapsáno na výrobním výkresu (viz. Příloha 3). Střížník, který se používá pouze u odpadového dělení, je potom kalen a popouštěn na 55 HRC, kdy tato hodnota je opět uvedena na výkrese (viz. Příloha 4).

Zušlechťování těchto nástrojů se provádí ve firmě CZECH METAL, s. r. o., kde se provádí kalení v komorových pecích a jako kalicí médium se používá olej, voda nebo polymer. Popouštění se následně provádí v hlubinných pecích s nuceným oběhem vzduchu, popřípadě se popouští ve vakuu.[9]

## **5 Povrchová úprava střížných nástrojů**

### **5.1 Broušený povrch**

Střížný nástroj, který je současně používán je zušlechtěný, tedy kalený a popouštěný. Po tomto tepelném zpracování byl nástroj upraven broušením na požadovanou drsnost povrchu Ra 0,8  $\mu\text{m}$ , kterou uvádějí výrobní výkresy střížníku (viz. Příloha 4) a střížnice (viz. Příloha 3).

#### **Charakteristika broušení**

Broušení je vlastně dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity tvoří zrna tvrdých materiálů, které jsou navzájem spojeny vhodným pojivem. Charakteristické u této metody je to, že v záběru je současně velké množství zrn, která odebírají třísky velmi malých průřezů o různých velikostech. Samotné broušení je v současnosti používané jako dokončovací operace, při které se dosáhne vysoké přesnosti a jakosti obrobeného povrchu. Broušením se dají opracovávat například i kalené oceli, které by nebylo možno běžnými nástroji opracovat.[10]

#### **Broušení střížníku**

Na střížníku se broušením upravuje rovinná plocha střížníku a přilehlé obvodové plochy, kromě ostří. Toto broušení potom probíhá na rovinné brusce obvodem kotouče.

Rovinná bruska je stroj, který je určen k broušení rovinných ploch. Broušení na těchto bruskách může probíhat dvěma způsoby, a to čelem (svislá osa vřeten) nebo obvodem kotouče (vodorovná osa vřeten). Obrobek se může upínat buďto pomocí svěráku nebo upínek, mnohem častější je ale upínání na magnetické desky.[10]. Vodorovná bruska se potom skládá z brousícího vřeteníku, loží, které nesou stůl, na kterém je upnut obrobek a stojanu.[11]

Před samotným broušením střížníku se nejprve provedlo ofrézování šířky a rovinné plochy střížníku, kde se ponechal přídavek 0,3 mm na broušení. Na CNC frézovacím centru se následně vyfrézoval tvar ostří odpovídající výkresové dokumentaci a drážka umístěná v horní části nástroje. Poté se střížník tepelně zpracoval. Následně se střížník obrousil na hotovo na drsnost Ra 0,8 a poté se jednotlivé strany označily dle výkresové dokumentace.

## Broušení střížnic

Střížnice se upravují stejně jako střížník broušením. V tomto případě se upravují broušením pouze čelní plochy, obvodové plochy se jemně soustruží. Broušení střížnic probíhá na rovinných bruskách obvodem kotoučem z umělého korundu nebo kubického nitridu boru. Toto broušení bylo popsáno již výše.

Před samotným broušením se provedlo osoustružení polotovaru na průměry dané výkresovou dokumentací. Dále se polotovar zarovnal na délku 60 mm s přídavkem 0,4 mm, který byl odebrán soustružením po tepelném zpracování. Další operací bylo vyvrtání otvorů o průměru 6H7 a také vyvrtání startovacích otvorů o průměru 2 mm. Tyto otvory poslouží pro zavedení drátové elektrody, která vyřeže do třížnice požadovaný tvar profilu. Poté následuje tepelné zpracování, tedy kalení a popuštění. Po tepelném zpracování se osoustruží na hotovo průměr 139,9 mm a obrousí výška střížnice na konečných 60 mm a drsnost povrchu na Ra 0,8  $\mu\text{m}$ . Na tento povrch se musí nanést ochranný vosk zabraňující korozi, která by mohla vzniknout při vyřezávání tvaru děleného profilu. Po vyřezání tvaru děleného profilu se vosk odstraní a na nástroj se nanese vhodný konzervační prostředek, který ochrání plochy proti další případné korozi..

## Parametry dosahované broušením

Jak již bylo výše zmíněno, tak tato technologie se využívá jako dokončovací operace, od které vyžadujeme vysokou přesnost rozměrů a kvalitní jakost obrobených ploch. Tyto parametry jsou především závislé na tuhosti a přesnosti brousícího stroje, na vlastnostech brusného kotouče, především na jeho zrnitosti, na způsobu broušení a v neposlední řadě také na řezných podmínkách. V následující tabulce je uvedena přesnost rozměrů a jakost obrobených ploch při broušení na rovinných bruskách.[10]

Tabulka 6 - Parametry dosahované při broušení na rovinných bruskách [10]

Rovinná plocha	Způsob broušení	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobené plochy Ra [ $\mu\text{m}$ ]
	<b>Hrubování</b>		
	Čelem	9 až 11	0,8 až 6,3
	Obvodem	8 až 11	0,8 až 3,2
	<b>Načisto</b>		
	Čelem	5 až 7	0,2 až 1,6
	Obvodem	5 až 7	0,2 až 1,6
	<b>Jemné broušení</b>		
		3 až 5	0,025 až 0,4

## **Vliv broušeného povrchu na opotřebení a životnost nástroje**

Hlavní vliv na životnost broušeného nástroje má typ opotřebení a druh tření. Opotřebení se projevuje jako úbytek nebo přemístění částic hmoty z jednoho materiálu na materiál druhý [12]. V tomto případě dochází k úbytku materiálu na ploše střížníku vlivem jeho tření o dělený profil. Tření mezi střížníkem a děleným profilem je převážně suchého charakteru, částečně však i smíšeného. Dochází zde totiž k přímému kontaktu obou povrchů bez nebo s částečnou přítomností maziva. Pokud budeme posuzovat tření mezi střížníkem a střížnicemi, tak zde bude tření mokré. To proto, že mezi oběma povrchy je rovnoměrná střížná mezera, která je vyplněna mazacím prostředkem.

Co se týče opotřebení, tak mezi profilem a střížníkem nastává opotřebení adhezní. Dochází zde totiž k přenosu materiálu profilu na povrch střížníku. Velikost tohoto opotřebení je potom závislá především na velikosti mikronerovností povrchu (poloměr a hloubka), dále na typu zatížení a hodnotě relativní rychlosti pohybů. Nedílnou roli hraje i schopnost materiálu toto opotřebení vytvářet a samozřejmě i přítomnost maziva mezi povrchy. Opotřebení potom může být mírné, ale i velmi vysoké, což označujeme jako zadírání. Při zadírání dále dochází k vytváření větších svarových spojů mezi třecími plochami, intenzita zadírání pak roste se zvyšující se teplotou. Odolnost proti zadírání ovlivňuje především tvrdost povrchů, fyzikálně chemické vlastnosti povrchů a smáčivost s přilnavostí maziva k danému povrchu.[12]

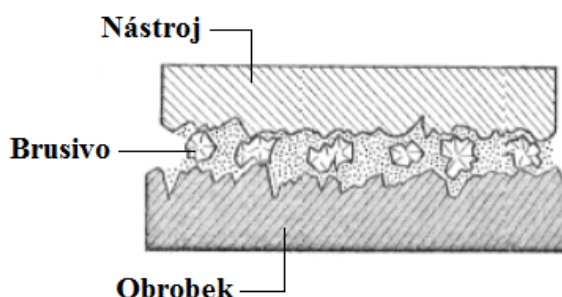
Opotřebení střížnic v horní části bude nulové. To z toho důvodu, že již zmiňované tření mezi střížnicemi a střížníkem je kapalně díky stejnoměrné střížné mezeře. V dolní části střížnic však s největší pravděpodobností nastane opotřebení abrazivní. Bude zde totiž docházet k tření odpadu s plochou střížnice. Výsledkem tohoto tření potom budou stopy po odchodu odpadu z místa stříhu.

## 5.2 Lapovaný povrch

Další sada nástrojů, která bude použita při experimentu je sada, která je tvořena dvěma lapovacími střížnicemi a jedním lapovacím střížníkem.

### Charakteristika lapování

Lapování je v podstatě proces obrábění rovinných nebo tvarových ploch, při kterém je materiál obráběné součásti odebírán vlivem pohybu volně rozptýlených brusných zrn v kapalině či pastě, nanesené mezi nástrojem a obráběným předmětem (viz. Obr. 7). Vlivem pohybu nástroje jednotlivá zrna neustále mění svoji dráhu a řeznými hranami, které jsou různě orientované odebírají z povrchu součásti jemné třísky. Parametry tohoto procesu je potom velikost přídavku, druh brusiva a tlak lapovacího nástroje.[10]



Obrázek 7 - Charakteristika lapování [13]

### Lapování střížníku a střížnic

Postup výroby lapovaného střížníku a střížnic je téměř shodný s postupem výroby nástrojů broušených. Jediný rozdíl je v tom, že po broušení povrchu následuje ještě lapování. U střížníku bylo lapování uskutečněno na rovinných plochách. Střížnice byly lapovány na čelních plochách, konkrétně na plochách, které při dělení přiléhají k střížníku.

### Cíl lapování

Cílem této technologie je zvýšit rozměrovou přesnost a snížit drsnost povrchu, což uvádí následující tabulka (viz. Tab. 7)

Tabulka 7 - Dosahované parametry při lapování rovinných ploch [10]

Rovinná plocha	Přesnost rozměrů			Tvarová přesnost [ $\mu\text{m}$ ]			Drsnost povrchu $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]		
	Velmi jemné	Jemné	Normální	Velmi jemné	Jemné	Normální	Velmi jemné	Jemné	Normální
	IT1 až IT3	IT1 až IT4	IT4 až IT6	0,03 až 0,05	0,05 až 0,5	0,6 až 1,0	0,005 až 0,05	0,05 až 0,1	0,1 až 0,4



## **Vliv lapovaného povrchu na opotřebení a životnost nástroje**

Typ opotřebení zde bude stejný, jako u nástrojů broušených (viz. kapitola Vliv broušeného povrchu na opotřebení a životnost nástroje). Hlavní rozdíl však bude v tření.

Lapovaný povrch bude mít oproti povrchu broušenému totiž nižší drsnost. Tento parametr bude důležitý z hlediska tření. Tření mezi lapovaným povrchem a děleným profilem by mělo teoreticky poklesnout, i když zde bude stále tření suché a kombinované. Na odolnost proti opotřebení bude mít vliv i zpevnění povrchové vrstvy dané součástí, které tuto odolnost zvýší. K tomuto zvýšení dojde vlivem plastických deformací nerovností povrchu, které vyvolá lapovací nástroj a volně rozptýlené brusivo[13]. Střížník a střížnice, které budou lapované by tedy měly být teoreticky méně opotřebené, než nástroje broušené. Čím nižší tedy bude opotřebení, tím vyšší by měla být i životnost tohoto nástroje.

### **Parametry navrženého povrchu**

Pro střížník a střížnice bylo navrženo jemné lapování, u kterého se dosahuje přesnosti rozměrů IT 1 až IT 4. Tvarová přesnost se pohybuje od 0,05 až po 0,5  $\mu\text{m}$  a drsnost povrchu  $R_a$  je v rozmezí 0,05 až 0,1  $\mu\text{m}$ .

## **5.3 Povlakovaný povrch PVD povlakem**

### **Charakteristika fyzikální metody nanášení povlaku ve vakuu**

Základním principem u této metody je převedení pevného kovu do plynného stavu a jeho následná kondenzace na povlakovaném předmětu. Tento způsob povlakování může probíhat vakuovým napařováním, vakuovým naprašováním nebo iontovým plátováním.[14]

### **Povlakování střížníku a střížnic**

Postup výroby těchto nástrojů je shodný s postupem výroby nástrojů broušených, až do tepelného zpracování. Tyto nástroje jsou totiž stejně jako předchozí nástroje zušlechťeny a navíc sekundárně popuštěny, aby nedošlo ke ztrátě tvrdosti, tedy změknutí materiálu. Poté byly nástroje přebroušeny. Dále proběhla úprava hran, kdy střížné hrany na střížníku byly ošetřeny mokřým pískováním, při kterém je povrch břitu otrýskáván směsí vody a abraziva. Střížné hrany na střížnicích byly pak ručně opilované. Tato operace byla nezbytně nutná, protože by povlak na ostrých hranách špatně ulpíval a při dělení profilu by mohlo dojít k jeho odtržení.

Po těchto úpravách byl následně aplikován již zmiňovaný PVD povlak. Aplikace povlaku probíhala napařováním nízkonapětovým obloukem, kdy tento proces je založen na principu rotačních katod. Tento princip umožňuje totiž nejlepší uspořádání celého depozičního systému v povlakovací komoře. Celý systém pak může být tvořen až 4 odlišnými materiály. Rovnoměrný pohyb magnetického pole vůči povrchu katody v této komoře potom umožňuje použít pro řízení pohybu oblouku silnější magnetické pole. Pohyb nástrojů v povlakovací komoře je výhodný především z hlediska růstu struktury povlaku. Mezi hlavní výhody této technologie patří hlavně vysoká rychlost růstu povlaku za časovou jednotku a možnost přípravy hladkých a nanokompozitních povlaků.[15]

### **Cíl fyzikální metody nanášení povlaku ve vakuu**

Cílem této metody je vytvořit povlak požadovaných vlastností a kvalit. Mezi hlavní vlastnosti těchto povlaků patří zvýšení protikorozní odolnosti, dále zvýšení životnosti a odolnosti proti otěru. S aplikací povlaku stoupne také tvrdost nástroje. Co se týče drsnosti povrchu, tak ta odpovídá drsnosti povrchu před aplikací povlaku.[14]

Dále můžeme říci, že jakost a tloušťka naneseného povlaku je závislá na čistotě povlakovaného materiálu, čistotě pracovních plynů, času povlakování, teplotě v komoře a na velikosti proudu a napětí. Vytvořený povlak by tedy měl být homogenní s rovnoměrnou tloušťkou a vysokou soudržností se základním materiálem.[16]

### **Vliv povlakovaného povrchu na opotřebení a životnost nástroje**

Odolnost povlaku proti opotřebení a jeho porušení je dána především typem povlaku, jeho tloušťkou a samozřejmě jeho chemickým složením. Další vliv na výsledné opotřebení bude mít i typ a velikost namáhání. Důležitým faktorem bude i teplota procesu.[12]

Životnost povlaku bude ovlivňovat i pnutí. V tenkých povlacích totiž mohou být tak velká pnutí, že vyvolají plastickou deformaci nebo lom. Významnou roli bude hrát i tloušťka povlaku. S rostoucí tloušťkou povlaku totiž klesá pevnost povlaku, jak na povrchu, tak i v místě jeho spojení se základním materiálem. Tento parametr může být významný především u tenkých povlaků, kde by tloušťka povlaku byla menší než velikost zrna. Zkoušení odolnosti povlaku proti lomu se provádí ohybovým namáháním povlaku, kdy trhliny lehce vznikají na vadách povlaku. [12]

V určitých případech potom může dojít i k odlupování povlaku. K tomu dochází při jednoosém tahovém napětí, kdy je povlak zatěžován kolmo na směr působící síly. Dochází zde totiž k rozdílu Poissonových konstant mezi tvrdým povlakem a měkčím základním materiálem, což může vyvolat tlakové napětí současně s tlakovým zbytkovým pnutím. Výsledkem je potom lokální částečné odlupování povlaku.[12]

Zásadní vliv na životnost povlaku má také adheze a koheze. Pojem adheze představuje pevnost spojení povlaku se základním materiálem a výraz koheze značí pevnost spojení částic v povlaku. Pevnost spojení je pak dána silami mechanického působení, které ovlivní zakotvení povlaku na povrchu substrátu. Významný vliv mají i síly fyzikálního působení a chemického působení.[12]

Jak již vyplývá z výše uvedeného textu, tak výsledný PVD povlak by měl mít vysokou ořezuvzdornost a tvrdost. Tato odolnost proti ořezu současně prodlouží životnost nástroje. Opotřebení povlakovaného nástroje by z teoretického hlediska mělo oproti ostatním povrchovým úpravám poklesnout, respektive být minimální. Tento nástroj by tedy měl vykazovat nejlepší vlastnosti oproti nástrojům broušeným a lapovaným. Další výhodou tohoto povlaku by mělo být i to, že povlak je aplikován i na ostří nástroje. Ostří tedy bude více chráněno proti opotřebení, než ostří broušeného a lapovaného střížníku.

#### Parametry navrženého povrchu

Pro povlakované nástroje byl navrhnutý povlak od společnosti SHM Šumperk, označovaný jako Alwin. Jedná se o nanokompozitní povlak CrAlSiN s vysokým obsahem chromu, který je vhodný na náročné operace, kde hrozí nalepování obráběného materiálu na nástroj, jako je například frézování, vrtání nebo stříhání.[17].

Tabulka 8 - Parametry TiCN povlaku [17]

Mirkotvrdost povlaku [Gpa]	Tloušťka povlaku [μm]	Drsnost povlaku Ra [μm]	Tepelná stabilita [°C]
35	2 - 4,5	0,15 - 0,20	> 1000

Na níže uvedeném obrázku je potom náhled na povlakovanou vrstvu. V levé části je naznačen průběh vrstev povlaku a v pravé části barevný odstín povlaku.



Obrázek 8 - Průběh a barva TiCN povlaku[17]

## 6 Mazivo používané při dělení stříhem

### 6.1 Hlavní účel maziva

Hlavním účelem maziva je zabránit styku povrchů při jejich vzájemném pohybu, a snížit tak tření mezi těmito povrchy a zároveň opotřebení [18]. V tomto případě mazivo vyplňuje střížnou mezeru, která se nachází mezi střížníkem a střížnicemi, kde zajišťuje kapalně tření. V horní části střížnic je tedy tření nástrojů o sebe nulové. V dolní části střížnic pak dochází k odchodu odpadu z místa stříhu, který se tře o střížnice. V této části mazivo snižuje velikost tohoto tření. Mazivo též snižuje teplotu celého procesu a samozřejmě i tření na činné části střížníku, kde zabraňuje především zadření nástroje.

### 6.2 Současně používané mazivo

Firma KVARTA LITOVEL, a.s. v současnosti využívá mazací olej RENOFORM MZAN 54 od společnosti FUCHS, který byl již dříve vybrán na základě výběrového řízení.

#### RENOFORM MZAN 54

Jedná se o vysoce výkonný olej s obsahem chlóru, který je nemísitelný s vodou a je vhodný pro přesné stříhání a hluboké tažení plechů. Tento olej není agresivní vůči pokožce. Olej dále poskytuje dobrou protikorozi ochranu ošetřených dílů do doby dalšího zpracování. Zbytky oleje se dají lehce odstranit pomocí vodných alkalických čistidel nebo pomocí rozpouštědel.[19]. Tento olej je vhodný především pro stříhání plechů tloušťky menší než 2 mm. [20].

Nanášení oleje RENOFORM MZAN 54 může probíhat nástřikem, válečkováním nebo štětcem.[19]. Na studovaném dělicím zařízení se využívá nanos nástřikem.

Tabulka 9 - Vlastnosti RENOFORM MZAN 54 [19]

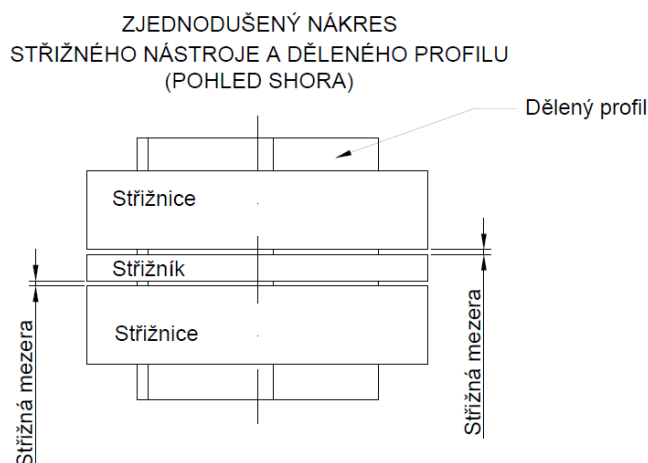
Vlastnosti	Jednotka	Údaje	Zkouška dle
Vzhled	-	Světle hnědá čirá kapalina	
Číslo barvy	-	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	980	DIN 51 757
Bod vzplanutí	°C	223	DIN ISO 2592
Viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	45	DIN 51 562
Zkouška koroze na proužku mědi	Stupeň koroze	1 - 100 A3	DIN ISO 2160
Svařovací zatížení na Č. K. S.	N	4 000	DIN 51 350-2
Reichertův test opotřebení	mm <sup>2</sup>	2,8	FLV-R 3 *)

\*) FLV = Laboratorní předpis firmy FUCHS

## 7 Střížná vůle

Důležitý vliv na opotřebení dělicích nástrojů a na výslednou kvalitu stříhu má i střížná vůle.

Střížnou vůli můžeme charakterizovat jako součet mezer po obou stranách průřezu mezi střížníkem a střížnicí. Polovina střížné vůle je potom rovna velikosti střížné mezery. Střížná mezera je graficky znázorněna na obrázku 9.[4]



Obrázek 9 - Střížná vůle a střížná mezera

Od správného stanovení střížné mezery se potom odvíjí jakost stříhu, životnost dělicího nástroje a také spotřeba energie a podobně. Střížná mezera musí být též stejná a rovnoměrná na všech místech, pokud by tomu tak nebylo, tak by opět docházelo k horší kvalitě střížné plochy a samozřejmě i k většímu opotřebení nástrojů. Velikost střížné vůle je potom závislá především na druhu děleného materiálu a jeho tloušťce. Nejlepší střížná vůle je pak taková, při které dosahujeme největší kvality střížné plochy za vynaložení nejmenší střížné síly.[21]

Pokud by byla velikost střížné mezery malá, tak by docházelo k nadměrnému opotřebení střížných nástrojů, protože množství maziva dodávaného mezi střížník a střížnice by bylo minimální. Naopak pokud by střížná mezera byla příliš velká, tak by sice bylo vyšší množství maziva mezi nástroji a jejich opotřebení by teoreticky bylo menší, ale kvalita střížné plochy by nebyla vysoká. Docházelo by zde totiž k vytváření otřepů a konce děleného profilu by mohly být částečně ohnuté a zcela jistě i více zdeformované. Proto musíme stanovit optimální velikost této vůle, aby byl profil čistě ostřížen a jeho deformace byla minimální za současného nejmenšího opotřebení střížných nástrojů.[22]



Velikost střížné vůle potom měříme pomocí měrek, které se vkládají mezi střížník a střížnici. Špatně stanovená velikost střížné vůle by se následně negativně podepsala na opotřebení střížných nástrojů a kvalitě střížné plochy, což již bylo zmíněno výše.[22]

## 7.1 Stanovení střížné vůle

Jak již bylo zmíněno, tak velmi důležitým parametrem bude velikost střížné vůle. Tuto velikost lze stanovit pomocí vzorce (7.1.1) nebo odečtením z tabulek (viz. Tab. 10).

### ➤ Výpočet pomocí vzorce

$$v = (0,05 \div 0,1) \cdot t \quad (7.1.1) [22]$$

$$v = (0,05 \div 0,1) \cdot t = 0,072 = 0,14 \text{ mm} \quad (7.1.2)$$

Pro výpočet střížné vůle jsem použil střední hodnotu z konstant 0,05 a 0,1. Výsledná střížná vůle je tedy 0,14 mm.

### ➤ Odečtení z tabulky

Tabulka 10 - Tabulka pro stanovení střížné vůle [21]

Materiál	Střížná vůle v %	
	Tloušťka do 2,5 mm	Tloušťka od 2,5 do 6 mm
Ocel do 400 Mpa	5	7 - 8
Ocel 400 až 600 Mpa	6	6 - 8
Ocel nad 600 Mpa	7 - 9	7 - 10

Posuzovaný dělený materiál spadá do skupiny ocelí s pevností do 400 MPa. Jeho mez pevnosti je totiž zhruba kolem 350 MPa, což vyplývá z hutního atestu (viz. Příloha 1). Střížná vůle je tedy 5% síly materiálu (dělený materiál má tloušťku 2 mm). Velikost střížné vůle bude tedy 0,1 mm.

Odchylka u výše uvedených výpočtů je minimální, můžeme tedy říci, že výpočty byly provedeny správně. Po konzultaci s technologem a jeho praktickými zkušenostmi jsem nakonec provedl zaokrouhlení této vůle na 0,2 mm.

## **8 Metodika experimentálních prací**

Cílem těchto experimentálních prací bude stanovit, který střížný nástroj vykazuje nejmenší opotřebení v závislosti na kvalitě střížné plochy. Střížný nástroj musí totiž pracovat tak, aby deformace profilu po ostřížení byla minimální a bez otřepu. Nejlepší střížný nástroj bude tedy ten, který na konci výroby daného množství profilů bude minimálně opotřeben a kvalita střížné plochy po ostřížení bude dostačující.

Před samotnými zkouškami, které budou provedené na nástrojích, a samozřejmě i měřením hotových profilů, musela proběhnout výroba těchto profilů. Výroba byla uskutečněna na profilovací lince PZ 380/12 (viz. Příloha 2), kde byly také stanovené neměnné parametry výroby, které jsou uvedené níže. Tyto parametry zajistí, aby byly stejné podmínky výroby pro všechny posuzované povrchové úpravy střížných nástrojů.

### **Neměnné parametry výroby na profilovací lince PZ 380/12**

1. Materiál profilu - DX51D+Z100
2. Tvar profilu - viz. Příloha 5
3. Používané mazivo - mazací olej RENOFORM MZAN 54
4. Střížná vůle - 0,2 mm.
5. Vyráběné množství - 4 000 m profilu na každou sadu nástrojů

Při výrobě profilů pak byly použity tři sady nástrojů, kdy každá sada je tvořena jedním střížníkem a dvěma střížnicemi. Jednotlivé povrchové úpravy, které byly posuzovány jsou uvedeny v následujících bodech.

### **Posuzované povrchové úpravy**

1. Broušený povrch
2. Lapovaný povrch
3. Povrch opatřený PVD povlakem

Po výrobě 4 000 m profilů na každé sadě nástrojů byla provedena kontrola jednotlivých parametrů na daných nástrojích. V následujících bodech jsou potom popsány parametry, které byly posuzovány na jednotlivých povrchových úpravách.

### **Parametry posuzované na broušených nástrojích**

1. Střížník
  - Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4278
  - Kvalita střížné hrany - pozorování pod mikroskopem
2. Střížnice
  - Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4278

### **Parametry posuzované na lapovaných nástrojích**

1. Střížník
  - Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4278
  - Kvalita střížné hrany - pozorování pod mikroskopem
2. Střížnice
  - Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4278

### **Parametry posuzované na nástrojích opatřených PVD povlakem**

1. Střížník
  - Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4278
  - Kvalita střížné hrany - pozorování pod mikroskopem
2. Střížnice
  - Drsnost povrchu dle ČSN EN ISO 4278
3. Vzorek přítomný v procesu PVD povlakování
  - Tloušťka PVD povlaku
  - Adheze PVD povlaku

V neposlední řadě bylo provedeno také posouzení jednotlivých parametrů děleného profilu. Posuzované parametry jsou opět vypsány níže v jednotlivých bodech.

### **Posuzované parametry na vyráběném profilu**

1. Úhel odstřížení profilu
2. Deformace profilu
  - V místě stříhu
  - 250 mm od místa stříhu dle ČSN EN 10162
3. Kontrola střížné plochy - pozorování pod mikroskopem

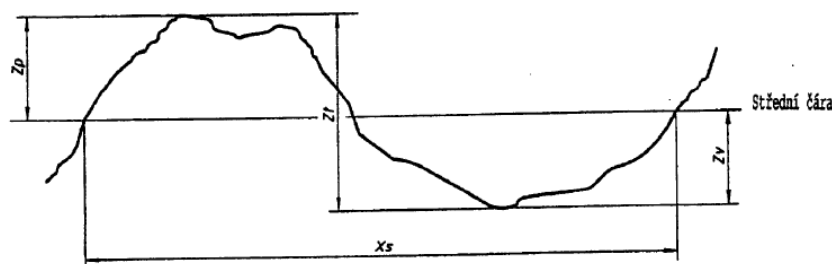
## 9 Experimentální práce

### 9.1 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4278

Toto měření bude probíhat podle normy ČSN EN ISO 4278, což je norma, která se zabývá geometrickými požadavky na výrobu - strukturu povrchu. Tato norma obsahuje informace o profilové metodě, konkrétně termíny, definice a parametry struktury povrchu.

Povrch je obecně složen z řady nerovností, mezi tyto nerovnosti patří makronerovnosti, to jsou například trhliny. Dále je to vlnitost povrchu, což je periodicky opakující se nerovnost, která vzniká hlavně při obrábění chvěním stroje. A nakonec je to samotná drsnost povrchu (mikronerovnost), která se pravidelně opakuje a je podmíněná technologickým pochodem stroje.[14]

Profil drsnosti je potom odvozený ze základního profilu potlačením dlouhových složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$ . Tento profil je posuzován na základní délce, na které jsou jednotlivé prvky profilu, což je výstupek profilu ( $Z_p$ ) s přilehlou prohlubní profilu ( $Z_v$ ) (viz. Obr. 10).[23]



Obrázek 10 - Prvek profilu [23]

#### Posuzované parametry profilu drsnosti:

1. Největší výška výstupku profilu  $R_p$  - největší výška výstupku profilu  $Z_p$  v rozsahu základní délky.
2. Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$  - hloubka nejnižší prohlubně profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky.
3. Největší výška profilu  $R_z$  - součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.
4. Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  - jedná se o aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. Viz. rovnice (9.1.1).

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (9.1.1) [23]$$

5. Průměrná kvadratická úchylka profilu  $Rq$  - jedná se o kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. Viz. rovnice (9.1.2).

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx} \quad (9.1.2) [23]$$

6. Šikmost profilu  $Rsk$  - jedná se o podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky. Viz. rovnice (9.1.3).

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[ \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^3 x| dx \right] \quad (9.1.3) [23]$$

7. Špičatost profilu  $Rku$  - jedná se o podíl průměrné hodnoty čtvrtých pořadnic  $Z(x)$  a čtvrté mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky. Viz. Rovnice (9.1.4).[23]

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[ \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^4 x| dx \right] \quad (9.1.4) [23]$$

Měření drsnosti lze provádět různými způsoby, a to porovnáváním drsnosti předmětu s etanoly drsnosti, pomocí metody světelného řezu, dále měřením s interferencí světla, a také měřením drsnosti povrchu pomocí profilometru. [24]

V tomto případě byla využita metoda měření drsnosti povrchu pomocí profilometru Mitutoyo SJ - 301, který umožňuje určit konečné hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti.

Drsnost povrchu byla měřena na obou stranách střižníku (strana A, strana B). Měření dále probíhalo na střižnicích (střižnice A, střižnice B), kde se měřila pouze jedna strana, a to strana přiléhající k střižníku. Toto měření bylo uskutečněno v podélném i příčném směru, a to v místech největšího opotřebení (viz obr.11). Měření probíhalo pouze na opotřebovaných nástrojích, tedy nástrojích, které byly použity při výrobě 4 000 m profilu GE 8706. Označení jednotlivých nástrojů je potom vidět v příloze 6 a 7 kde jsou nástroje nafocené před samotnou výrobou profilu. Fotodokumentace nástrojů po výrobě je uvedena v příloze 8 a 9.



Obrázek 11 - a) směr měření střižníku, b) směr měření střižnice

### Nastavení drsnoměru Mitutoyo SJ - 301

Drsnoměr Mitutoyo SJ - 301 byl pro všechna měření nastaven na filtr  $\lambda_c = 0,8$  a na velikost měřené délky  $l = 4$  mm.

### Výsledky měření v podélném směru - střížník

Tabulka 11 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník A - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,22	0,98	0,28	0,93	0,60	0,70	3,90
2	0,26	0,99	0,32	0,58	0,93	-0,64	3,15
3	0,17	0,68	0,22	0,45	0,62	-0,29	3,11
4	0,25	1,17	0,33	0,72	0,95	-0,29	3,47
5	0,19	0,71	0,23	0,48	0,61	-0,37	2,60
6	0,18	0,66	0,22	0,47	0,55	0,06	2,53
7	0,15	0,68	0,19	0,43	0,56	-0,19	3,02
8	0,23	1,11	0,31	0,88	0,92	-0,04	3,85
9	0,13	0,49	0,16	0,44	0,34	0,52	3,02
10	0,19	0,74	0,24	0,60	0,56	-0,07	2,98
min. hodnota	0,13	0,49	0,16	0,43	0,34	-0,64	2,53
max. hodnota	0,26	1,17	0,33	0,93	0,95	0,70	3,90
Průměrná hodnota	0,20	0,82	0,25	0,61	0,66	-0,05	3,17
Rozdíl mezi min a max	0,13	0,68	0,17	0,50	0,61	1,34	1,37

Tabulka 12 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník B - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,20	0,82	0,24	0,75	0,52	0,32	0,07
2	0,25	1,00	0,30	0,79	0,65	0,14	2,69
3	0,16	0,66	0,20	0,60	0,42	0,61	3,38
4	0,20	0,89	0,26	0,76	0,66	0,12	4,57
5	0,15	0,58	0,18	0,52	0,48	0,34	3,19
6	0,16	0,71	0,20	0,43	0,66	-0,55	3,60
7	0,23	0,85	0,27	0,67	0,63	0,14	2,65
8	0,18	0,80	0,24	0,69	0,63	0,19	4,39
9	0,20	0,90	0,27	0,95	0,51	1,13	6,88
10	0,20	0,78	0,25	0,61	0,57	0,22	2,99
min. hodnota	0,15	0,58	0,18	0,43	0,42	-0,55	0,07
max. hodnota	0,25	1,00	0,30	0,95	0,66	1,13	6,88
Průměrná hodnota	0,19	0,80	0,24	0,68	0,57	0,27	3,45
Rozdíl mezi min a max	0,10	0,42	0,12	0,52	0,24	1,68	6,81

**Tabulka 13 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník A - podélně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,08	0,67	0,11	0,25	0,69	-1,41	7,64
2	0,08	0,70	0,12	0,25	0,72	-1,58	9,04
3	0,16	0,86	0,20	0,60	0,68	0,14	3,74
4	0,07	0,64	0,10	0,22	0,61	-1,22	6,56
5	0,08	0,65	0,11	0,23	0,65	-1,54	8,56
6	0,08	0,57	0,10	0,24	0,48	-0,69	4,53
7	0,08	0,59	0,11	0,30	0,49	-0,75	5,81
8	0,15	0,77	0,20	0,57	0,62	0,25	4,43
9	0,08	0,57	0,10	0,28	0,42	-0,67	4,51
10	0,11	0,82	0,15	0,36	0,82	-1,21	10,55
min. hodnota	0,07	0,57	0,10	0,22	0,42	-1,58	3,74
max. hodnota	0,16	0,86	0,20	0,60	0,82	0,25	10,55
Průměrná hodnota	0,10	0,69	0,13	0,34	0,62	-0,83	6,64
Rozdíl mezi min a max	0,09	0,29	0,10	0,38	0,40	1,83	6,81

**Tabulka 14 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník B - podélně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,07	0,59	0,10	0,22	0,55	-1,38	6,93
2	0,08	0,60	0,10	0,23	0,55	-0,92	5,23
3	0,08	0,61	0,10	0,22	0,55	-0,99	5,50
4	0,08	0,61	0,11	0,24	0,66	-1,62	15,53
5	0,08	0,67	0,11	0,22	0,63	-1,83	9,75
6	0,07	0,62	0,10	0,25	0,61	-1,34	7,42
7	0,07	0,60	0,10	0,21	0,51	-1,21	7,10
8	0,09	0,68	0,12	0,29	0,65	-1,15	6,21
9	0,08	0,72	0,12	0,25	0,85	-2,03	13,28
10	0,09	0,74	0,13	0,25	0,89	-2,03	12,14
min. hodnota	0,07	0,59	0,10	0,21	0,51	-2,03	5,23
max. hodnota	0,09	0,74	0,13	0,29	0,89	-0,92	15,53
Průměrná hodnota	0,08	0,65	0,11	0,24	0,65	-1,45	9,15
Rozdíl mezi min a max	0,02	0,15	0,03	0,08	0,38	1,11	10,30



**Tabulka 15 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník A - podélně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
<b>1</b>	0,26	1,31	0,34	1,21	0,92	0,29	4,77
<b>2</b>	0,17	1,06	0,23	1,22	0,62	0,93	7,64
<b>3</b>	0,13	0,83	0,17	0,62	0,66	0,06	4,27
<b>4</b>	0,15	0,86	0,19	0,73	0,48	0,47	3,91
<b>5</b>	0,23	0,98	0,29	0,74	0,68	-0,14	3,47
<b>6</b>	0,13	0,86	0,17	0,67	0,45	0,65	4,50
<b>7</b>	0,19	1,03	0,24	0,88	0,64	0,41	3,95
<b>8</b>	0,17	0,87	0,22	0,82	0,49	0,84	4,32
<b>9</b>	0,17	0,90	0,22	0,71	0,57	0,16	4,63
<b>10</b>	0,24	1,15	0,30	1,03	0,70	0,18	4,11
<b>min. hodnota</b>	0,13	0,83	0,17	0,62	0,45	-0,14	3,47
<b>max. hodnota</b>	0,26	1,31	0,34	1,22	0,92	0,93	7,64
<b>Průměrná hodnota</b>	0,19	1,00	0,24	0,87	0,63	0,39	4,72
<b>Rozdíl mezi min a max</b>	0,13	0,48	0,17	0,60	0,47	1,07	4,17

**Tabulka 16 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník B - podélně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
<b>1</b>	0,19	1,07	0,25	0,95	0,79	0,30	5,26
<b>2</b>	0,19	0,99	0,24	0,87	0,50	0,59	3,29
<b>3</b>	0,25	1,30	0,34	1,17	1,00	0,06	6,28
<b>4</b>	0,13	0,72	0,16	0,58	0,42	0,27	3,41
<b>5</b>	0,11	0,62	0,14	0,41	0,40	0,01	2,83
<b>6</b>	0,37	1,75	0,45	1,25	1,08	-0,18	2,90
<b>7</b>	0,26	1,22	0,33	1,19	0,99	-0,09	3,54
<b>8</b>	0,18	1,02	0,23	1,04	0,53	0,91	6,84
<b>9</b>	0,15	0,80	0,19	0,67	0,46	0,41	2,96
<b>10</b>	0,18	1,05	0,24	1,23	0,46	1,40	7,32
<b>min. hodnota</b>	0,11	0,62	0,14	0,41	0,40	-0,18	2,83
<b>max. hodnota</b>	0,37	1,75	0,45	1,25	1,08	1,40	7,32
<b>Průměrná hodnota</b>	0,21	1,08	0,26	0,92	0,68	0,41	4,57
<b>Rozdíl mezi min a max</b>	0,26	1,13	0,31	0,84	0,68	1,58	4,49

## Výsledky měření v příčném směru - střížník

Tabulka 17 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník A - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,48	3,05	0,61	1,77	2,13	-0,31	3,64
2	0,46	2,74	0,58	1,53	2,28	-0,52	3,67
3	0,31	2,11	0,41	1,23	1,60	-0,67	4,92
4	0,33	2,11	0,43	0,98	1,76	-0,81	4,24
5	0,31	2,10	0,41	0,88	1,89	-1,19	5,25
6	0,36	2,37	0,48	1,10	2,11	-1,04	4,92
7	0,35	2,19	0,45	1,02	1,91	-0,87	4,61
8	0,27	1,85	0,35	1,05	1,48	-0,74	4,32
9	0,34	2,20	0,45	1,22	1,76	-0,74	4,72
10	0,82	3,44	1,10	2,25	2,65	-0,53	3,76
min. hodnota	0,27	1,85	0,35	0,88	1,48	-1,19	3,64
max. hodnota	0,82	3,44	1,10	2,25	2,65	-0,31	5,25
Průměrná hodnota	0,43	2,45	0,56	1,35	1,98	-0,74	4,41
Rozdíl mezi min a max	0,55	1,59	0,75	1,37	1,17	0,88	1,61

Tabulka 18 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník B - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,35	2,29	0,45	1,42	1,58	-0,36	3,60
2	0,37	2,46	0,50	1,24	2,46	-1,19	6,18
3	0,40	2,76	0,59	2,26	2,00	-0,11	6,83
4	0,34	2,27	0,46	1,28	1,79	-0,79	4,85
5	0,33	2,07	0,43	0,99	1,90	-0,98	4,82
6	0,33	2,24	0,44	1,09	2,02	-1,07	6,18
7	0,32	2,11	0,43	0,96	2,21	-1,18	6,44
8	0,32	2,00	0,41	1,03	1,68	-0,73	4,16
9	0,35	2,14	0,45	1,08	1,69	-0,64	3,70
10	0,36	2,39	0,47	1,20	1,81	-0,80	4,09
min. hodnota	0,32	2,00	0,41	0,96	1,58	-1,19	3,60
max. hodnota	0,40	2,76	0,59	2,26	2,46	-0,11	6,83
Průměrná hodnota	0,35	2,29	0,47	1,31	1,93	-0,76	5,11
Rozdíl mezi min a max	0,08	0,76	0,18	1,30	0,88	1,08	3,23

**Tabulka 19 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník A - příčně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,08	0,60	0,10	0,28	0,55	-1,07	5,90
2	0,10	0,63	0,13	0,29	0,51	-0,84	3,89
3	0,11	0,95	0,16	0,67	0,75	-0,30	10,63
4	0,08	0,61	0,11	0,37	0,61	-0,78	7,42
5	0,06	0,40	0,08	0,17	0,35	-0,92	4,60
6	0,07	0,48	0,09	0,20	0,49	-1,57	8,35
7	0,07	0,53	0,10	0,23	0,56	-1,82	8,99
8	0,08	0,59	0,11	0,23	0,58	-1,23	6,15
9	0,07	0,46	0,09	0,21	0,44	-0,87	4,89
10	0,09	0,59	0,12	0,26	0,56	-1,10	5,32
min. hodnota	0,06	0,40	0,08	0,17	0,35	-1,82	3,89
max. hodnota	0,11	0,95	0,16	0,67	0,75	-0,30	10,63
Průměrná hodnota	0,08	0,60	0,11	0,31	0,54	-1,05	6,72
Rozdíl mezi min a max	0,05	0,55	0,08	0,50	0,40	1,52	6,74

**Tabulka 20 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník B - příčně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,07	0,52	0,09	0,21	0,52	-1,37	7,19
2	0,06	0,50	0,09	0,19	0,52	-1,51	8,18
3	0,08	0,59	0,11	0,25	0,56	-1,11	6,39
4	0,08	0,58	0,11	0,27	0,51	-0,97	4,86
5	0,07	0,51	0,09	0,22	0,53	-1,27	7,69
6	0,08	0,64	0,11	0,25	0,60	-1,43	7,84
7	0,08	0,55	0,12	0,27	0,61	-1,37	6,75
8	0,07	0,47	0,09	0,20	0,42	-1,10	5,17
9	0,12	1,10	0,18	0,68	1,01	-0,93	11,85
10	0,07	0,47	0,09	0,19	0,39	-0,99	4,78
min. hodnota	0,06	0,47	0,09	0,19	0,39	-1,51	4,78
max. hodnota	0,12	1,10	0,18	0,68	1,01	-0,93	11,85
Průměrná hodnota	0,08	0,63	0,11	0,30	0,59	-1,21	7,28
Rozdíl mezi min a max	0,06	0,63	0,09	0,49	0,62	0,58	7,07

**Tabulka 21 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník A - příčně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
<b>1</b>	0,33	2,03	0,43	1,27	1,79	-0,55	4,75
<b>2</b>	0,31	2,01	0,41	0,98	1,58	-0,78	4,18
<b>3</b>	0,33	2,08	0,43	1,13	1,67	-0,98	4,88
<b>4</b>	0,31	1,82	0,41	0,84	1,67	-1,04	4,91
<b>5</b>	0,36	2,22	0,49	0,94	2,37	-1,58	7,19
<b>6</b>	0,36	2,33	0,49	1,36	1,82	-0,71	4,80
<b>7</b>	0,44	2,41	0,59	1,51	2,13	-0,90	4,82
<b>8</b>	0,40	3,98	0,57	2,97	1,96	0,01	15,62
<b>9</b>	0,42	2,24	0,58	1,33	2,33	-1,42	5,92
<b>10</b>	0,17	1,09	0,24	0,76	0,96	0,38	10,20
<b>min. hodnota</b>	0,17	1,09	0,24	0,76	0,96	-1,58	4,18
<b>max. hodnota</b>	0,44	3,98	0,59	2,97	2,37	0,38	15,62
<b>Průměrná hodnota</b>	0,34	2,27	0,46	1,40	1,80	-0,73	7,26
<b>Rozdíl mezi min a max</b>	0,27	2,89	0,35	2,21	1,41	1,96	11,44

**Tabulka 22 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník B - příčně**

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
<b>1</b>	0,42	2,43	0,54	1,08	2,17	-0,78	4,15
<b>2</b>	0,43	2,40	0,54	1,20	1,80	-0,78	3,46
<b>3</b>	0,35	2,17	0,47	1,44	1,71	-0,51	5,36
<b>4</b>	0,24	1,48	0,31	1,13	0,87	0,30	3,70
<b>5</b>	0,41	2,40	0,53	1,48	2,02	-0,68	4,41
<b>6</b>	0,32	1,73	0,40	1,04	1,26	-0,49	4,10
<b>7</b>	0,45	2,48	0,57	1,23	2,02	-0,71	3,60
<b>8</b>	0,37	2,11	0,48	1,08	1,79	-0,78	3,86
<b>9</b>	0,34	2,15	0,45	1,28	1,80	-0,81	4,93
<b>10</b>	0,44	2,38	0,56	1,00	2,00	-0,93	3,78
<b>min. hodnota</b>	0,24	1,48	0,31	1,00	0,87	-0,93	3,46
<b>max. hodnota</b>	0,45	2,48	0,57	1,48	2,17	0,30	5,36
<b>Průměrná hodnota</b>	0,37	2,14	0,48	1,20	1,71	-0,57	4,18
<b>Rozdíl mezi min a max</b>	0,21	1,00	0,26	0,48	1,30	1,23	1,90

## Výsledky měření v podélném směru - střížnice

Tabulka 23 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici A - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,21	0,94	0,27	0,57	0,91	-0,49	3,47
2	0,35	1,53	0,46	1,15	1,29	-0,28	4,22
3	0,35	1,38	0,43	0,68	1,32	-0,76	3,80
4	0,37	1,61	0,47	1,43	1,12	0,45	3,91
5	0,25	1,01	0,33	0,82	0,89	-0,42	3,55
6	0,19	0,80	0,26	0,84	0,43	1,17	4,99
7	0,35	1,45	0,43	0,78	1,15	-0,40	2,64
8	0,39	1,92	0,57	1,10	1,78	-0,89	4,95
9	0,25	1,29	0,36	0,87	1,38	-0,87	5,87
10	0,32	1,17	0,38	0,85	0,84	0,02	2,63
min. hodnota	0,19	0,80	0,26	0,57	0,43	-0,89	2,63
max. hodnota	0,39	1,92	0,57	1,43	1,78	1,17	5,87
Průměrná hodnota	0,30	1,32	0,40	0,92	1,11	-0,18	4,04
Rozdíl mezi min a max	0,20	1,12	0,31	0,86	1,35	2,06	3,24

Tabulka 24 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici B - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,15	0,77	0,20	0,46	0,67	-0,77	5,57
2	0,23	0,95	0,29	0,92	0,64	0,48	3,24
3	0,42	1,47	0,51	1,20	1,05	-0,23	2,77
4	0,22	0,84	0,27	0,69	0,61	-0,16	2,92
5	0,24	0,99	0,31	0,65	0,77	-0,54	3,23
6	0,16	0,64	0,19	0,54	0,35	0,47	2,66
7	0,16	0,70	0,20	0,71	0,45	0,51	3,81
8	0,12	0,55	0,16	0,49	0,34	0,62	3,55
9	0,15	0,71	0,20	0,51	0,58	-0,56	3,92
10	0,15	0,56	0,18	0,41	0,41	-0,37	2,76
min. hodnota	0,12	0,55	0,16	0,41	0,34	-0,77	2,66
max. hodnota	0,42	1,47	0,51	1,20	1,05	0,62	5,57
Průměrná hodnota	0,21	0,85	0,27	0,68	0,61	-0,06	3,56
Rozdíl mezi min a max	0,30	0,92	0,35	0,79	0,71	1,39	2,91

Tabulka 25 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici A - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,06	0,43	0,09	0,17	0,54	-2,10	12,94
2	0,18	1,07	0,25	1,04	0,70	0,83	6,90
3	0,19	0,95	0,25	0,90	0,54	0,46	3,88
4	0,31	1,37	0,40	1,00	1,09	0,02	3,58
5	0,15	0,69	0,19	0,53	0,42	0,32	2,88
6	0,12	0,60	0,16	0,47	0,46	-0,32	4,93
7	0,08	0,46	0,41	0,23	0,49	-1,27	6,58
8	0,12	0,71	0,16	0,67	0,33	1,45	6,34
9	0,17	0,74	0,22	0,55	0,65	-0,66	4,89
10	0,07	0,40	0,09	0,34	0,22	0,80	4,19
min. hodnota	0,06	0,40	0,09	0,17	0,22	-2,10	2,88
max. hodnota	0,31	1,37	0,41	1,04	1,09	1,45	12,94
Průměrná hodnota	0,15	0,77	0,23	0,59	0,56	-0,09	6,08
Rozdíl mezi min a max	0,25	0,97	0,32	0,87	0,87	3,55	10,06

Tabulka 26 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici B - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,08	0,59	0,11	0,22	0,66	-1,69	9,22
2	0,08	0,68	0,12	0,24	0,79	-1,89	10,56
3	0,07	0,43	0,09	0,19	0,39	-0,91	4,47
4	0,07	0,49	0,10	0,23	0,50	-1,09	6,56
5	0,09	0,62	0,12	0,26	0,67	-1,31	9,00
6	0,07	0,54	0,10	0,26	0,54	-1,81	9,65
7	0,06	0,45	0,09	0,17	0,43	-1,33	6,40
8	0,07	0,67	0,12	0,47	0,52	-0,75	7,55
9	0,05	0,34	0,06	0,14	0,30	-1,90	5,65
10	0,09	0,54	0,11	0,25	0,44	-0,76	3,96
min. hodnota	0,05	0,34	0,06	0,14	0,30	-1,90	3,96
max. hodnota	0,09	0,68	0,12	0,47	0,79	-0,75	10,56
Průměrná hodnota	0,07	0,53	0,10	0,25	0,53	-1,34	7,30
Rozdíl mezi min a max	0,04	0,34	0,06	0,33	0,49	1,15	6,60

Tabulka 27 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici A - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,49	2,88	0,64	1,50	2,24	-0,73	4,36
2	0,62	3,63	0,80	1,99	2,81	-0,74	3,96
3	0,69	3,61	0,86	1,89	2,70	-0,76	3,40
4	0,53	3,00	0,72	1,49	2,77	-1,30	5,53
5	0,70	3,97	0,92	2,32	3,33	-0,64	4,08
6	0,66	3,65	0,85	1,66	2,79	-0,84	3,79
7	0,37	2,23	0,48	1,30	1,72	-0,60	4,11
8	0,55	3,30	0,73	1,93	2,47	-0,50	4,18
9	0,48	2,66	0,64	1,27	2,66	-1,50	6,24
10	0,74	3,66	0,97	1,86	3,41	-1,02	4,44
min. hodnota	0,37	2,23	0,48	1,27	1,72	-1,50	3,40
max. hodnota	0,74	3,97	0,97	2,32	3,41	-0,50	6,24
Průměrná hodnota	0,58	3,23	0,76	1,73	2,67	-0,89	4,48
Rozdíl mezi min a max	0,37	1,74	0,49	1,05	1,69	1,00	2,84

Tabulka 28 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici B - podélně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,60	3,41	0,77	2,02	2,43	-0,30	3,46
2	0,66	3,55	0,84	1,84	2,03	-0,41	3,33
3	0,65	3,53	0,84	1,71	2,70	-0,89	3,73
4	0,37	2,06	0,53	0,82	2,50	-2,05	9,23
5	0,21	1,47	0,30	0,77	1,39	-1,17	10,15
6	0,59	3,48	0,76	1,90	2,56	-0,53	3,42
7	0,60	3,31	0,80	1,74	2,88	-0,93	4,31
8	0,59	3,36	0,82	1,66	3,42	-1,50	6,18
9	0,45	2,46	0,60	1,34	2,63	-1,07	5,77
10	0,44	2,60	0,60	1,14	2,86	-1,60	7,25
min. hodnota	0,21	1,47	0,30	0,77	1,39	-2,05	3,33
max. hodnota	0,66	3,55	0,84	2,02	3,42	-0,30	10,15
Průměrná hodnota	0,50	2,85	0,67	1,48	2,52	-1,07	5,86
Rozdíl mezi min a max	0,45	2,08	0,54	1,25	2,03	1,75	6,82



## Výsledky měření v příčném směru - střížnice

Tabulka 29 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici A - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,58	3,60	0,78	1,67	3,25	-1,22	5,50
2	0,53	2,93	0,73	1,23	3,46	-1,73	7,73
3	0,67	3,37	0,85	1,57	3,17	-1,04	4,37
4	0,77	3,43	0,96	1,51	3,36	-0,94	3,72
5	0,51	2,94	0,67	1,26	2,75	-1,22	5,25
6	0,55	3,38	0,75	1,95	3,03	-1,04	5,15
7	0,55	3,73	0,75	1,89	3,07	-1,09	5,30
8	0,45	2,64	0,58	1,66	1,91	-0,25	3,72
9	0,57	3,66	0,75	1,94	2,63	-0,64	4,12
10	0,44	2,63	0,57	1,54	2,18	-0,74	4,52
min. hodnota	0,44	2,63	0,57	1,23	1,91	-1,73	3,72
max. hodnota	0,77	3,73	0,96	1,95	3,46	-0,25	7,73
Průměrná hodnota	0,57	3,22	0,74	1,62	2,85	-0,99	5,07
Rozdíl mezi min a max	0,33	1,10	0,39	0,72	1,55	1,48	4,01

Tabulka 30 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici B - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,32	1,93	0,41	1,07	1,47	-0,74	3,89
2	0,37	2,36	0,48	1,37	1,75	-0,60	4,06
3	0,36	2,38	0,47	1,34	1,85	-0,55	4,05
4	0,37	2,30	0,47	1,24	1,65	-0,52	3,74
5	0,45	2,79	0,60	2,02	1,99	0,11	4,06
6	0,32	1,91	0,42	0,92	1,54	-0,78	4,29
7	0,31	1,96	0,40	0,84	1,49	-0,81	3,92
8	0,26	1,93	0,36	0,99	1,73	-1,03	8,61
9	0,34	2,20	0,45	0,92	1,93	-1,13	5,12
10	0,22	1,46	0,30	0,70	1,42	-1,21	6,38
min. hodnota	0,22	1,46	0,30	0,70	1,42	-1,21	3,74
max. hodnota	0,45	2,79	0,60	2,02	1,99	0,11	8,61
Průměrná hodnota	0,33	2,12	0,44	1,18	1,69	-0,70	5,04
Rozdíl mezi min a max	0,23	1,33	0,30	1,32	0,57	1,32	4,87

Tabulka 31 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici A - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,11	0,64	0,16	0,49	0,48	-0,42	6,45
2	0,17	0,81	0,22	0,76	0,58	0,46	4,80
3	0,16	0,88	0,20	0,62	0,66	-0,29	3,76
4	0,24	1,44	0,34	1,28	0,72	0,23	7,10
5	0,06	0,49	0,09	0,16	0,67	-2,88	19,73
6	0,06	0,47	0,08	0,26	0,39	-0,61	4,94
7	0,09	0,62	0,12	0,34	0,59	-0,57	6,47
8	0,06	0,43	0,08	0,22	0,45	-0,70	6,37
9	0,28	1,17	0,34	0,96	0,73	0,72	4,13
10	0,20	1,06	0,26	0,76	0,80	0,07	3,88
min. hodnota	0,06	0,43	0,08	0,16	0,39	-2,88	3,76
max. hodnota	0,28	1,44	0,34	1,28	0,80	0,72	19,73
Průměrná hodnota	0,15	0,82	0,19	0,61	0,61	-0,51	7,59
Rozdíl mezi min a max	0,22	1,01	0,26	1,12	0,41	3,60	15,97

Tabulka 32 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici B - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,08	0,61	0,11	0,22	0,60	-1,61	7,89
2	0,07	0,55	0,10	0,20	0,53	-1,43	7,59
3	0,06	0,55	0,09	0,21	0,49	-1,11	6,39
4	0,07	0,52	0,09	0,22	0,48	-1,09	5,80
5	0,07	0,52	0,09	0,21	0,44	-0,85	4,87
6	0,08	0,63	0,11	0,25	0,63	-1,30	8,13
7	0,07	0,70	0,11	0,30	0,68	-1,52	9,79
8	0,05	0,43	0,07	0,20	0,42	-1,09	7,05
9	0,06	0,52	0,09	0,19	0,51	-1,57	7,85
10	0,08	0,60	0,11	0,26	0,53	-0,84	5,59
min. hodnota	0,05	0,43	0,07	0,19	0,42	-1,61	4,87
max. hodnota	0,08	0,70	0,11	0,30	0,68	-0,84	9,79
Průměrná hodnota	0,07	0,56	0,10	0,23	0,53	-1,24	7,13
Rozdíl mezi min a max	0,03	0,27	0,04	0,11	0,26	0,77	4,92

Tabulka 33 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici A - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,64	2,48	0,82	1,74	2,35	-0,75	3,58
2	0,41	3,16	0,65	2,93	1,57	1,18	12,24
3	0,48	2,32	0,69	1,40	2,78	-1,40	7,16
4	0,75	2,88	0,92	2,14	2,29	-0,19	2,84
5	0,76	3,46	0,99	2,14	2,63	-0,43	3,46
6	0,57	2,54	0,72	1,70	1,88	-0,26	2,86
7	0,57	2,16	0,70	1,40	1,92	-0,62	2,97
8	0,52	2,36	0,68	2,00	1,92	-0,09	4,04
9	0,46	1,96	0,65	1,34	2,28	-1,32	5,77
10	0,59	2,53	0,74	1,60	2,11	-0,60	2,99
min. hodnota	0,41	1,96	0,65	1,34	1,57	-1,40	2,84
max. hodnota	0,76	3,46	0,99	2,93	2,78	1,18	12,24
Průměrná hodnota	0,58	2,61	0,77	1,89	2,17	-0,39	5,25
Rozdíl mezi min a max	0,35	1,50	0,34	1,59	1,21	2,58	9,40

Tabulka 34 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici B - příčně

Číslo měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,46	1,76	0,57	1,43	1,29	0,14	2,67
2	0,46	1,85	0,57	1,26	1,57	-0,38	2,89
3	0,54	2,20	0,65	1,25	1,71	-0,32	3,07
4	0,40	1,88	0,50	1,34	1,36	-0,27	2,99
5	0,57	2,36	0,73	1,58	1,85	-0,43	2,95
6	0,58	2,10	0,74	1,51	1,87	-0,60	3,15
7	0,46	1,90	0,57	1,21	1,57	-0,42	3,27
8	0,35	1,53	0,44	1,06	1,18	-0,36	3,13
9	0,37	1,81	0,47	1,47	1,36	-0,13	3,35
10	0,43	1,68	0,53	1,42	1,17	0,15	2,66
min. hodnota	0,35	1,53	0,44	1,06	1,17	-0,60	2,66
max. hodnota	0,58	2,36	0,74	1,58	1,87	0,15	3,35
Průměrná hodnota	0,46	1,91	0,58	1,35	1,50	-0,26	3,01
Rozdíl mezi min a max	0,23	0,83	0,30	0,52	0,70	0,75	0,69

## Porovnání získaných výsledků z měření drsnosti do tabulky

Tabulka 35 - Porovnání výsledků drsnosti střížníků - podélně

Střížník - strana	Průměrné hodnoty			Rozdíl mezi min a max		
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]
Broušený - A	0,61	0,66	0,82	0,50	0,61	0,68
Broušený - B	0,68	0,57	0,80	0,52	0,24	0,40
Lapovaný - A	0,31	0,54	0,60	0,38	0,40	0,29
Lapovaný - B	0,24	0,65	0,65	0,08	0,38	0,15
PVD - A	0,87	0,63	1,00	0,60	0,47	0,48
PVD - B	0,92	0,68	1,08	0,84	0,68	1,13

Tabulka 36 - Porovnání výsledků drsnosti střížníků - příčně

Střížník - strana	Průměrné hodnoty			Rozdíl mezi min a max		
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]
Broušený - A	1,35	1,98	2,45	1,37	1,17	1,59
Broušený - B	1,31	1,93	2,29	1,30	0,88	0,76
Lapovaný - A	0,34	0,62	0,69	0,50	0,40	0,55
Lapovaný - B	0,30	0,59	0,63	0,49	0,62	0,63
PVD - A	1,40	1,80	2,27	2,21	1,41	2,89
PVD - B	1,20	1,71	2,14	0,48	1,30	1,00

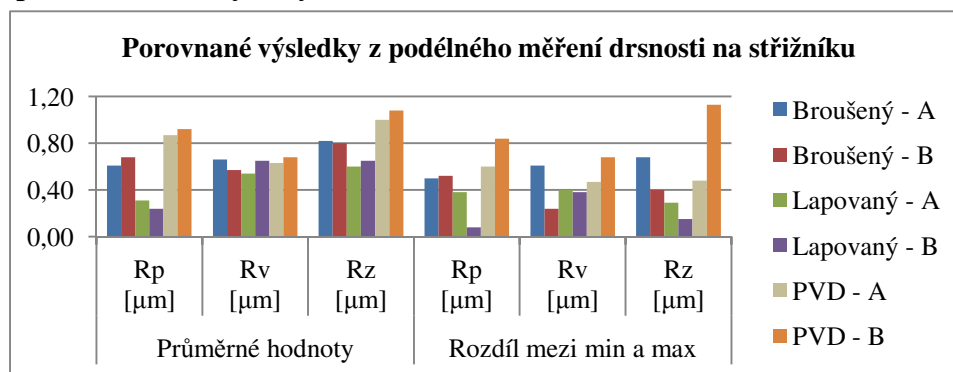
Tabulka 37 - Porovnání výsledků drsnosti střížnic - podélně

Střížnice - typ	Průměrné hodnoty			Rozdíl mezi min a max		
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]
Broušená - A	1,32	0,92	1,11	1,12	0,86	1,35
Broušená - B	0,85	0,68	0,61	0,92	0,79	0,71
Lapovaná - A	0,77	0,59	0,56	0,97	0,87	0,87
Lapovaná - B	0,53	0,25	0,53	0,34	0,33	0,49
PVD - A	3,23	1,73	2,67	1,74	1,05	1,69
PVD - B	2,85	1,48	2,52	2,08	1,25	2,03

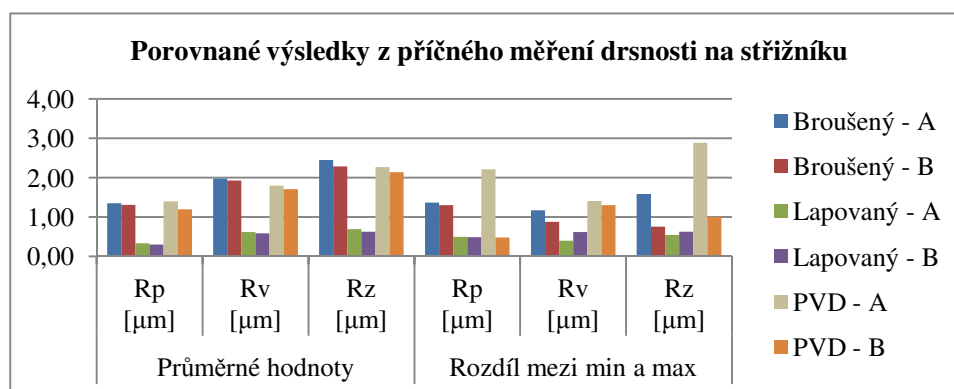
Tabulka 38 - Porovnání výsledků drsnosti střížnic - příčně

Střížník - strana	Průměrné hodnoty			Rozdíl mezi min a max		
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]
Broušená - A	3,22	1,62	2,85	1,10	0,72	1,55
Broušená - B	2,12	1,18	1,69	1,33	1,32	0,57
Lapovaná - A	0,82	0,61	0,61	1,01	1,12	0,41
Lapovaná - B	0,56	0,23	0,53	0,27	0,11	0,26
PVD - A	2,61	1,89	2,17	1,50	1,59	1,21
PVD - B	1,91	1,35	1,50	0,83	0,52	0,70

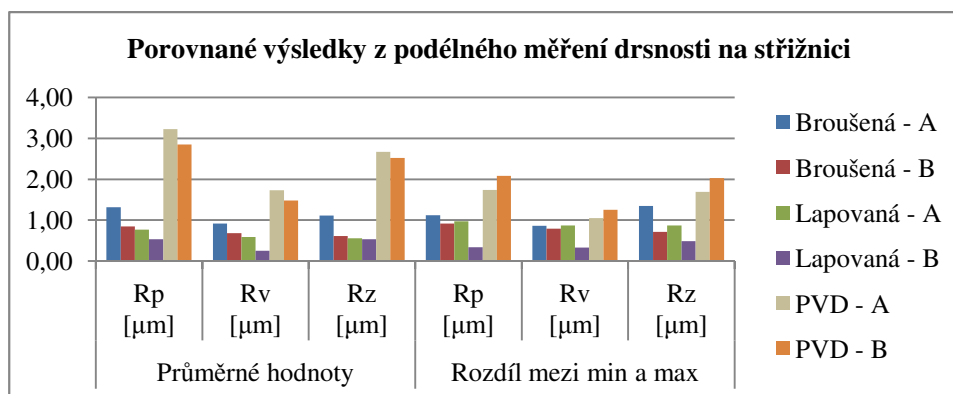
## Grafické porovnání získaných výsledků z měření drsnosti



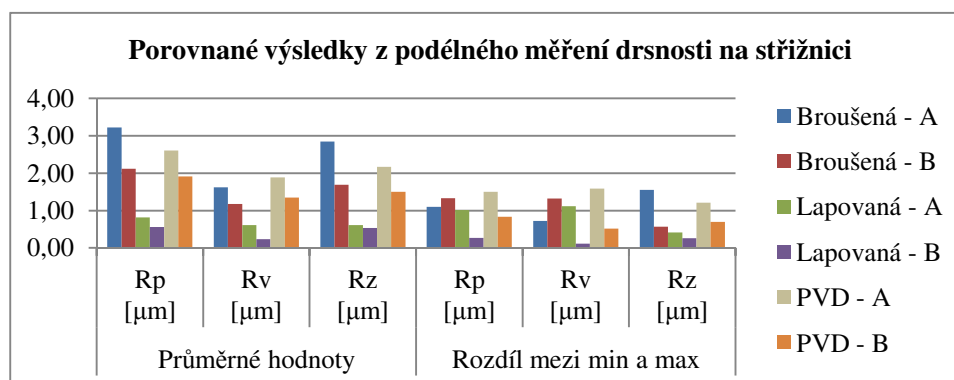
Obrázek 12 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížník - podélně



Obrázek 13 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížník - příčně



Obrázek 14 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížnici - podélně



Obrázek 15 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížnici - příčně

## Vyhodnocení měření drsnosti

Co se týká výsledků měření drsnosti povrchu na střížníku v podélném směru, tak hodnoty naměřené na straně A i B byly téměř srovnatelné. Výraznější rozdíl byl zaznamenán jen u povlakovaného střížníku na straně B, kde byl rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou  $R_z$  více jak dvojnásobný, než rozdíl na straně A. Nejnižší průměrné a rozdílové hodnoty byly zaregistrovány u lapovaného střížníku. Viz. Tab. 35 a Obr. 12.

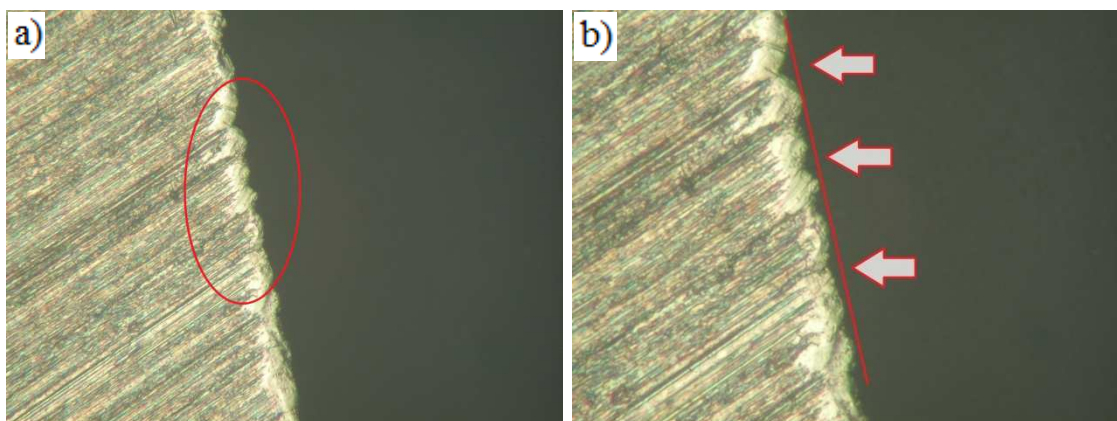
Při porovnání průměrných hodnot drsnosti měřených v příčném směru na střížníku bylo zjištěno, že rozdíly mezi broušeným a povlakovaným střížníkem na obou stranách jsou minimální. Naopak rozdíly mezi minimální a maximální hodnotou  $R_p$  a  $R_z$  na straně A byly u povlakovaného střížníku skoro dvojnásobně větší než u střížníku broušeného na téže straně. Nejnižší hodnoty rozdílové, ale i průměrné, byly zjištěny na lapovaném nástroji. Viz. Tab. 36 a Obr. 13.

Z hlediska opotřebení střížnic, bylo zjištěno že k největšímu opotřebení v podélném směru došlo u střížnic povlakovaných. Naopak k nejmenšímu opotřebení došlo na nástrojích lapovaných. Viz. Tab. 37 a Obr. 14.

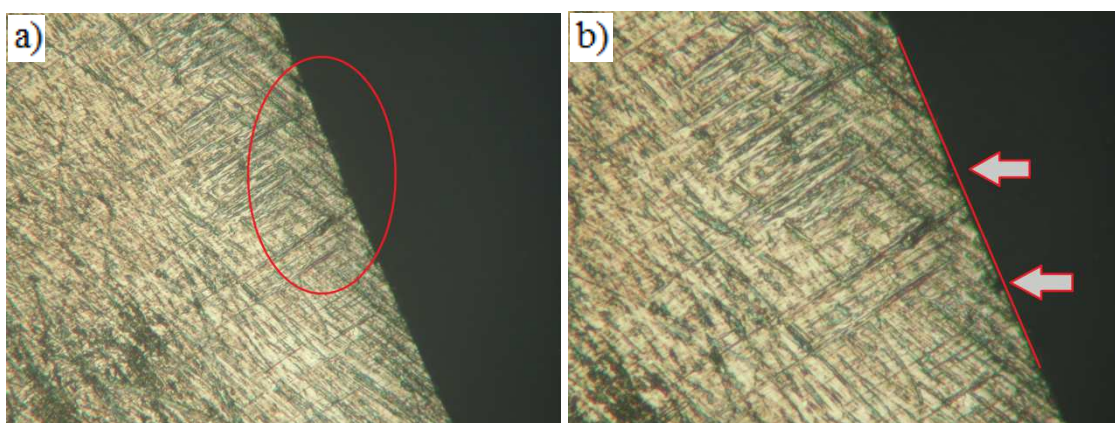
Z hodnot drsnosti povrchu měřených v příčném směru na střížnicích vyplývá, že střížnice broušené byly v tomto směru více opotřebované než střížnice povlakované (u podélného směru měření tomu bylo přesně naopak). Nejnižší známky opotřebení v tomto směru vykazovaly lapované střížnice. Z grafů a tabulek uvedených výše také vyplývá, že střížnice A jsou více opotřebované, než střížnice B. Viz. Tab. 38 a Obr. 15.

## 9.2 Posouzení kvality střížné hrany

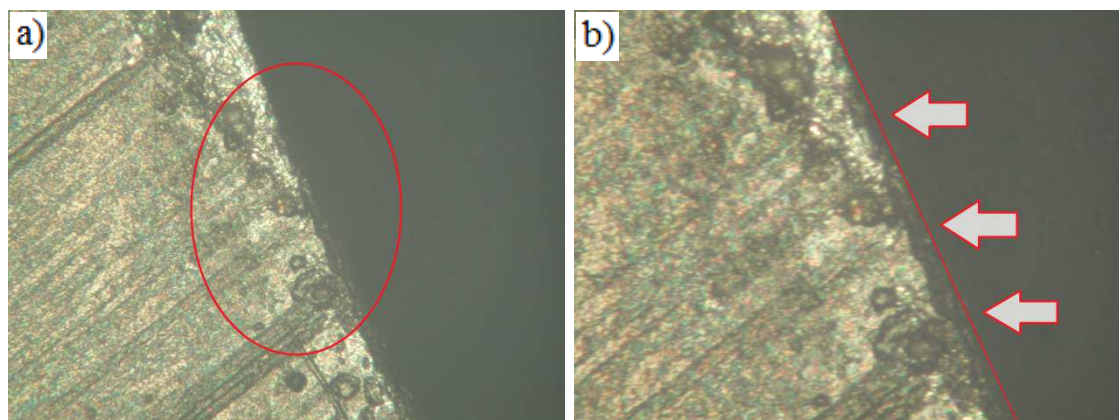
Toto posouzení proběhlo pozorováním střížné hrany pod mikroskopem Neophot 2, kde byly také zaznamenány makrosnímky daných střížných hran. Pozorování bylo provedeno pouze u střížníku. Hrany na střížnicích vytvořené řezáním drátovou elektrodou, nebylo možné na mikroskopu vyhodnotit z důvodu vysoké hmotnosti těchto nástrojů. Mohlo by totiž dojít k poškození přístroje. Snímky jednotlivých střížných hran jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 16 - Makrosnímek broušeného střížníku - a) zvětšení 80x, b) zvětšení 200x



Obrázek 17 - Makrosnímek lapovaného střížníku - a) zvětšení 80x, b) zvětšení 200x



Obrázek 18 - Makrosnímek PVD střížníku - a) zvětšení 80x, b) zvětšení 200x

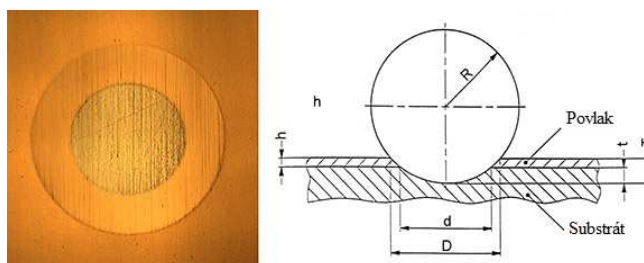
### Vyhodnocení kvality střížné hrany

Ze snímků uvedených na obrázcích vyplývá, že nejméně opotřebovaná střížná hrana byla u lapovaného nástroje (obr. 17), kde šipky směřují k místům s viditelným opotřebením, které však není nijak vysoké. Opotřebení střížné hrany povlakovaného nástroje (obr. 18) bylo potom lehce větší, než opotřebení střížné hrany nástroje lapovaného. V tomto případě nebyla střížná hrana zcela rovná, na což poukazují šipky. Poškození střížné hrany broušeného nástroje (obr. 16) bylo největší, což znázorňují i šipky uvedené na fotografii. Tyto šipky směřují k místům s největším opotřebením.



### 9.3 Měření tloušťky PVD povlaku

Toto měření bylo provedeno na kalotestu. Princip měření spočívá v tom, že se nejprve vybrousí do posuzovaného povrchu kulový vrchlík, nástrojem, kterým je ocelová kulička o průměru 25 mm potřená brusnou diamantovou pastou (viz. pravá část Obr. 19). Následně se zkoušený předmět vloží pod mikroskop, kde při pohledu shora bude jasně patrné mezikruží. Kdy střed bude tvořen pouze základním materiálem (substrátem) a okraje mezikruží naneseným povlakem (viz. levá část Obr. 19). Pod mikroskopem potom lze jednoduše odečíst průměry daných kružnic a následně vypočítat tloušťku povlaku. Toto měření má širokou oblast použitelnosti, a to pro povlaky od síly 1 až po 100  $\mu\text{m}$  s přesností 2 až 4 %. Měření je dále limitováno drsností povrchu, která nesmí přesáhnout hodnotu  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ . Posuzovaný povrch proto musí mít nižší hodnotu drsnosti nebo musí být záměrně před měřením vyleštěn. [25]

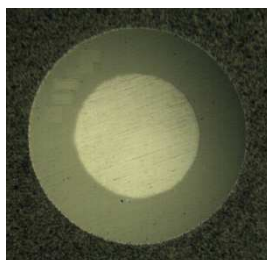


Obrázek 19 - Kalotest [26]

Vzhledem k tomu, že společnost KVARTA LITOVEL, a. s. si nepřála provést na nástrojích destruktivní zkoušku, tak tloušťka povlaku byla měřena pouze před výrobou. Měření muselo být uskutečněno na vzorku, který byl přítomen v procesu povlakování těchto nástrojů. Důvodem byla vysoká hmotnost nástrojů, a také jejich velikost. Nástroje by totiž nebylo možné umístit do zkušebního přístroje. Měření proběhlo ve společnosti SHM Šumperk na přístroji Kalotest Platit CT50.

#### Vyhodnocení tloušťky povlaku

Výsledkem měření byla hodnota tloušťky povlaku  $t = 5,25 \mu\text{m}$ , což je o  $0,75 \mu\text{m}$  více než hodnota, kterou udával výrobce v katalogovém listu jako maximální. Na níže uvedeném obrázku je snímek kaloty. Protokol z měření je uveden v příloze 10.

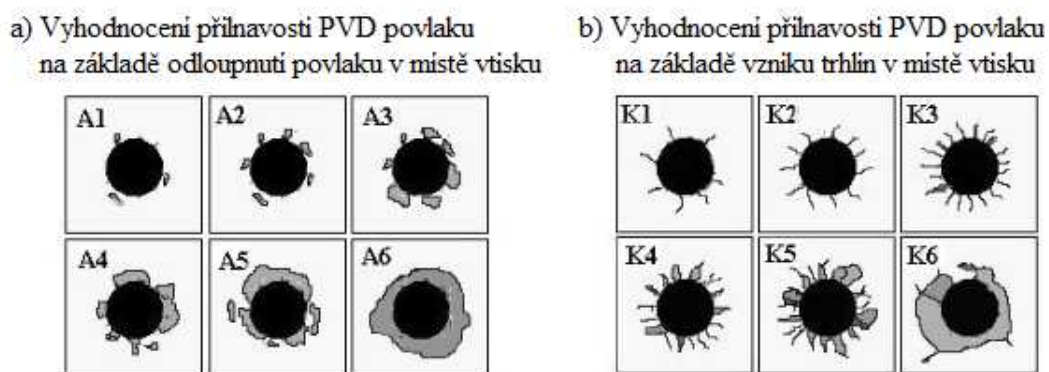


Obrázek 20 - Snímek kaloty PVD povlaku Alwin [27]

## 9.4 Měření adheze PVD povlaku

Adheze je velmi důležitý parametr, určuje totiž přilnavost povlaku k substrátu. Tím, že zajistíme maximální přilnavost, tak zajistíme i to, že vytvořený povlak bude kvalitní. Adheze je závislá především na tloušťce povlaku a také na základním materiálu, tedy substrátu. Přilnavost lze vyhodnotit pomocí scratch - testu nebo pomocí vtiskové zkoušky, při které se použije kulička nebo diamantový kužel, který je vtlačován do zkoušeného povlaku. Přilnavost se vyhodnotí na základě porušení místa vtisku.[27]

V tomto případě byla použita vtisková metoda, kdy vtlačovaným tělesem byl Rockwellův diamantový kužel. Tato metoda je také nazývána jako takzvaný Mercedes test. Rockwellův intendor je v tomto případě vtlačován do vzorku silou 1 500 N. Následně se pomocí mikroskopu provede kontrola daného místa a určí se přilnavost povlaku. [28]. Přilnavost povlaku je podle Mercedes testu klasifikována jako A1 až A6, podle stupně odloupenutí povlaku v místě vtisku, nebo jako K1 až K6 podle stupně popraskání povlaku v místě vtisku. Kdy hodnoty A1 a K1 značí přilnavost nejlepší, a naopak hodnoty A6 a K6 přilnavost nejhorší. To, o jakou hodnotu přilnavosti se jedná poznáme podle toho, jak moc byly trhliny v místě vtisku výrazné, nebo podle toho, jak silné bylo odloupenutí povlaku [29]. Jednotlivé hodnoty přilnavosti i s vyobrazením oblastí vpichů jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obrázek 21 - Vyhodnocení přilnavosti PVD povlaku pomocí Mercedes testu - a) na základě odloupenutí povlaku v místě vtisku, b) na základě vzniku trhlin v místě vtisku [29]

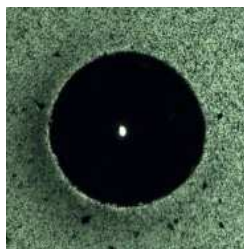
Samotné měření bylo opět uskutečněno na vzorku, který byl přítomen v procesu povlakování s nástroji, a bylo provedeno ve společnosti SHM Šumperk. Vtlačování Rockwellova diamantového kužele bylo provedeno pomocí přístroje Rockwell Rapid RR - IV. Následně se vzorek vložil pod mikroskop, kde se vyhodnotilo porušení v místě vtisku Rockwellova intendoru a provedlo se vyhodnocení.

## Vyhodnocení adheze povlaku

Výsledkem této zkoušky bylo zjištění hodnoty přilnavosti, klasifikované jako HF1 podle vnitřních předpisů laboratoře společnosti SHM Šumperk. Tomuto označení však odpovídá také hodnota přilnavosti K1, která byla zmíněna v předchozím textu a graficky znázorněna na obrázku 21, b). Z tohoto označení vyplývá, že přilnavost byla hodnocena jako nejlepší. Ze snímku na obrázku 19 je totiž jasně zřetelné, že v blízkosti vpichu se neobjevily žádné výrazné trhliny a ani nedošlo k odloupenutí povlaku. V níže uvedené tabulce, jsou vyznačeny parametry testu, i s výsledkem měření. Protokol z měření je uveden v příloze 10.

Tabulka 39 - Parametry zkoušky adheze PVD povlaku

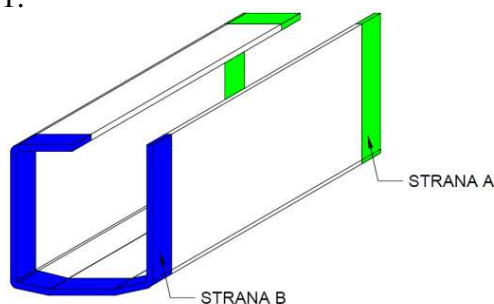
Zatěžující síla [N]	Doba zatížení [s]	Výsledek zkoušky
1 500	10	K1 (HF1 dle SHM Šumperk)



Obrázek 22 - Snímek vpichu pro zkoušku adheze PVD povlaku [27]

## 9.5 Stanovení kvality střížné plochy děleného profilu

Důležitým parametrem u střížných nástrojů je i kvalita střížné plochy. Proto navrhuji provést porovnání střížných ploch profilů, dělených jednotlivými sadami nástrojů. Měření bude probíhat na dvou vzorcích, které budou pocházet ze začátku a z konce výroby. Tyto vzorky se potom odeberou pro každou sadu nástrojů. Měřit se budou obě strany děleného profilu, které budou označeny jako strana A a strana B. Strana A je strana profilu, o kterou tře plocha střížníku A, a strana B je strana, o kterou se tře plocha střížníku B. Grafické znázornění označení je potom patrné z obrázku 20. Fotodokumentace vzorků je pak v příloze 11.



Obrázek 23 - Označení stran děleného profilu

### Mezi kontrolované parametry střížné plochy spadá :

1. Úhlová úchylka od roviny stříhu
2. Velikost deformace tvaru profilu oproti tvaru původnímu
3. Kvalita střížné plochy

### Úhlová úchylka od roviny stříhu

Stanovení této úchylky se provede měřením úhlu sklonu střížné plochy od roviny profilu. Toto měření bylo provedeno pomocí dílenského úhloměru.

### Vyhodnocení úhlu odstřížení

Tabulka 40 - Výsledky měření pro stranu profilu A

	Broušená sada		Lapovaná sada		Povlakovaná sada	
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2
Úhel odstřížení [°]	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5

Tabulka 41 - Výsledky měření pro stranu profilu B

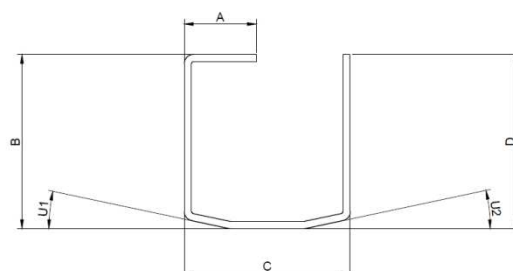
	Broušená sada		Lapovaná sada		Povlakovaná sada	
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2
Úhel odstřížení [°]	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5

Co se týká úhlu sklonu odstříženého profilu, tak z Tab. 40 a 41 vyplývá, že tento úhel je u všech sad nástrojů stejný. Povrchová úprava tedy úhel odstřížení profilu neovlivní.

### Velikost deformace profilu oproti původnímu tvaru

Po odstříhnutí dojde k mírné deformaci tvaru profilu. Tato deformace se projeví změnou rozměrů, které udává výkres.

Měření probíhalo v místě stříhu a následně 250 mm od místa stříhu. Tuto vzdálenost uvádí norma ČSN EN 10162, jako vzdálenost, na které lze provést měření s vyloučením vlivu roztřepených konců od způsobu dělení. Měřily se pouze tolerované rozměry a úhly označené na obrázku 24, a to na obou stranách děleného profilu, pomocí posuvného měřítka, mikrometru a dílenského úhloměru.



Obrázek 24 - Měřené rozměry

## Vyhodnocení deformace profilu

Tabulka 42 - Výsledky měření pro stranu A - měřeno v místě stříhu

Rozměr	Broušená sada		Lapovaná sada		Povlakovaná sada	
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2
A [mm]	19,49	19,83	19,79	19,66	19,55	19,66
B [mm]	48,78	48,91	48,86	48,96	48,83	48,95
C - horní rozm. [mm]	46,30	46,13	46,20	46,06	46,77	46,93
C - dolní rozm. [mm]	46,25	46,10	46,17	46,22	46,45	46,46
D [mm]	48,75	49,03	48,92	48,94	48,77	48,80
U1 [°]	14,0	13,0	13,5	13,5	13,0	12,5
U2 [°]	11,0	10,5	11,0	10,5	11,0	12,5

Tabulka 43 - Výsledky měření pro stranu A - měřeno 250 mm od místa stříhu

Rozměr	Broušená sada		Lapovaná sada		Povlakovaná sada	
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2
A [mm]	19,56	19,77	19,80	19,72	19,87	19,89
B [mm]	48,31	48,30	48,46	48,30	48,38	48,37
C [mm]	45,95	45,96	45,90	45,97	45,98	45,82
D [mm]	48,25	48,35	48,40	48,35	48,34	48,41
U1 [°]	12	12	12	12	12	12
U2 [°]	12	12	12	12	12	12

Tabulka 44 - Výsledky měření pro stranu B - měřeno v místě stříhu

Rozměr	Broušená sada		Lapovaná sada		Povlakovaná sada	
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2
A [mm]	19,65	19,73	20,20	19,83	19,56	19,65
B [mm]	49,23	49,12	49,10	49,05	49,00	49,08
C - horní rozm. [mm]	48,34	48,10	47,88	47,75	47,57	47,75
C - dolní rozm. [mm]	46,36	46,42	46,34	46,45	46,51	46,49
D [mm]	48,80	49,13	48,98	48,71	48,71	48,62
U1 [°]	14,0	14,0	13,5	14,0	13,0	13,0
U2 [°]	12,5	11,5	11,5	11,5	12	11,5

Tabulka 45 - Výsledky měření pro stranu B - měřeno 250 mm od místa stříhu

Rozměr	Broušená sada		Lapovaná sada		Povlakovaná sada	
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 1	Vzorek 2
A [mm]	19,60	19,54	19,90	19,70	19,65	19,63
B [mm]	48,40	48,36	48,46	48,37	48,37	48,31
C [mm]	45,96	45,99	45,95	45,94	45,89	45,77
D [mm]	48,32	48,35	48,43	48,36	48,37	48,35
U1 [°]	12	12	12	12	12	12
U2 [°]	12	12	12	12	12	12

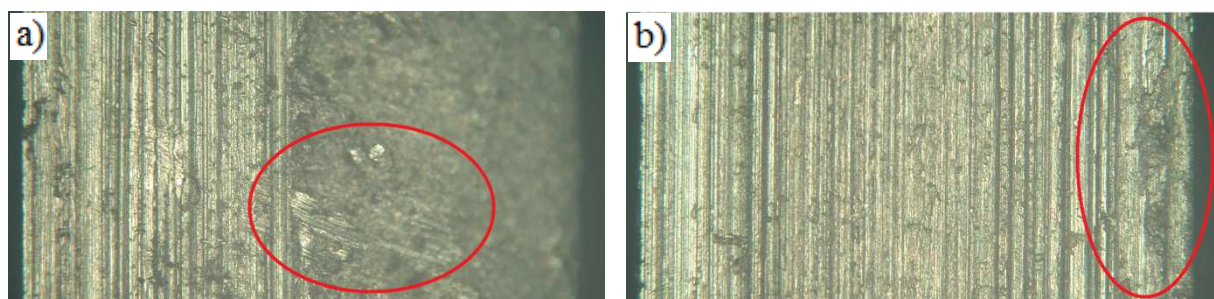


Deformace profilu děleného broušenou, lapovanou a povlakovanou sadou byla v místě stříhu téměř srovnatelná, a to jak na straně A, tak i na straně B. Z tabulek (viz. Tab.42 a 44) naopak vyplívá, že konec profilu označovaný jako strana A se deformuje méně, což je nejvíce vidět na změně velikosti rozměru C. Deformace profilu ve vzdálenosti 250 mm od místa stříhu byla v toleranci daných rozměrů (viz. Tab.43 a 45). Dle mého názoru byly výsledky tohoto měření téměř srovnatelné, povrchová úprava tedy nemá jednoznačně vliv na velikost deformace děleného profilu.

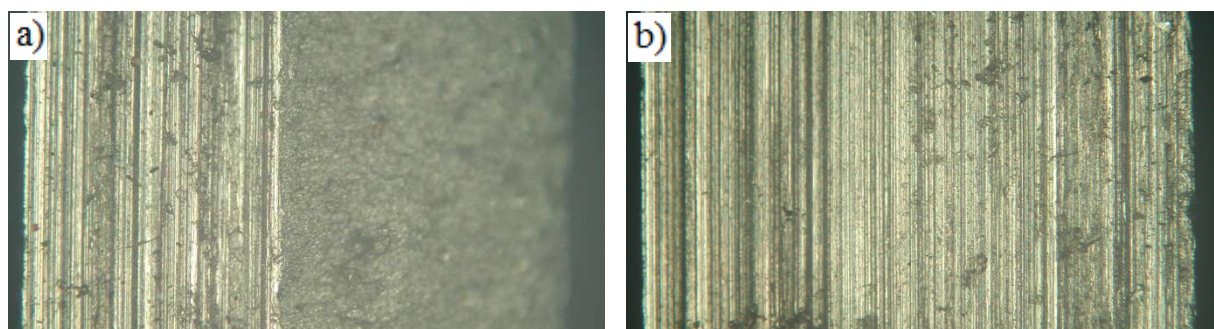
### Kvalita střížné plochy

Nedílnou součástí měření bylo i stanovení přítomnosti otřepu, popřípadě otisků po nástroji, na střížné ploše. Otřep by na střížné ploše v ideálním případě neměl vůbec vzniknout, respektive jeho velikost by měla být minimální.

Porovnání daných střížných ploch bylo provedeno na mikroskopu Neophot 2, kde byly také zaznamenány i snímky těchto ploch, které jsou uvedeny na následujících obrázcích. Posuzovala se čelní plocha děleného profilu, a to jak na straně A, tak na straně B. Dále se posuzovala boční plocha děleného profilu, taktéž na straně A i straně B. Posouzení opět proběhlo na vzorcích ze začátku (1. kus) a z konce (2. kus) výroby.

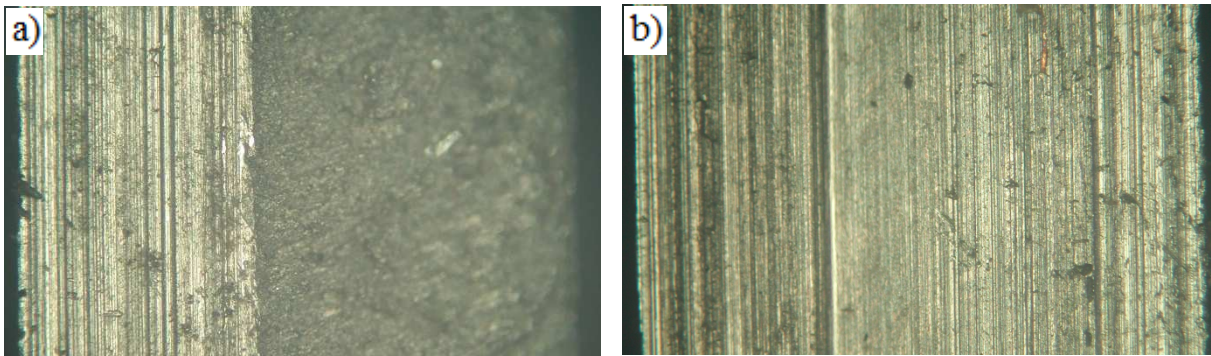


Obrázek 25 - Makrosnímek profilu děleného broušenou sadou nástrojů (1. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x  
a) strana A, b) strana B

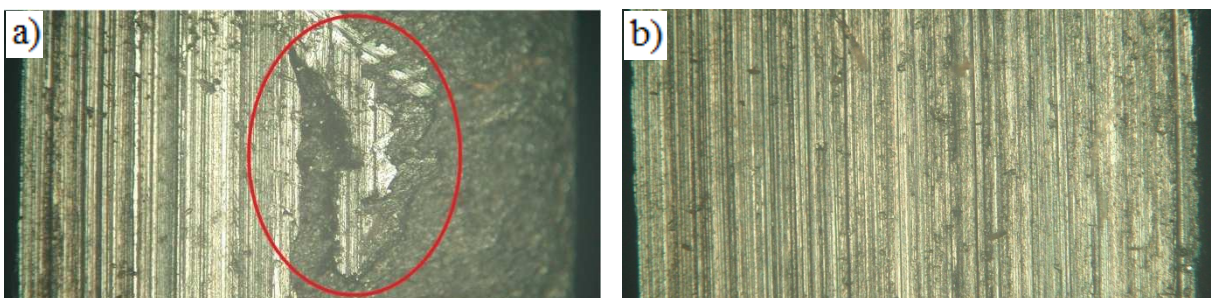


Obrázek 26 - Makrosnímek profilu děleného broušenou sadou nástrojů (2. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x  
a) strana A, b) strana B

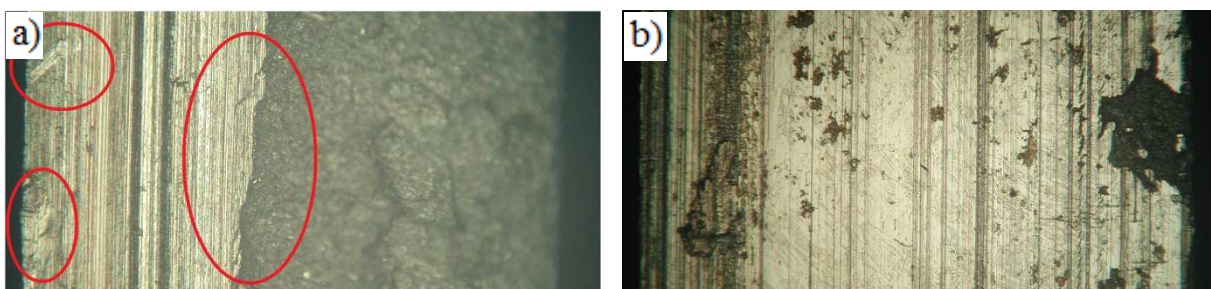




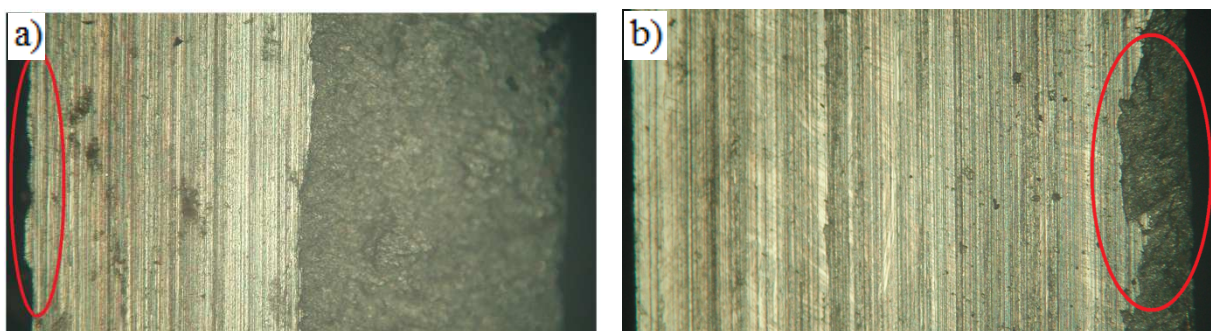
Obrázek 27 - Makrosnímek profilu děleného lapovanou sadou nástrojů (1. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x  
a) strana A, b) strana B



Obrázek 28 - Makrosnímek profilu děleného lapovanou sadou nástrojů (2. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x  
a) strana A, b) strana B

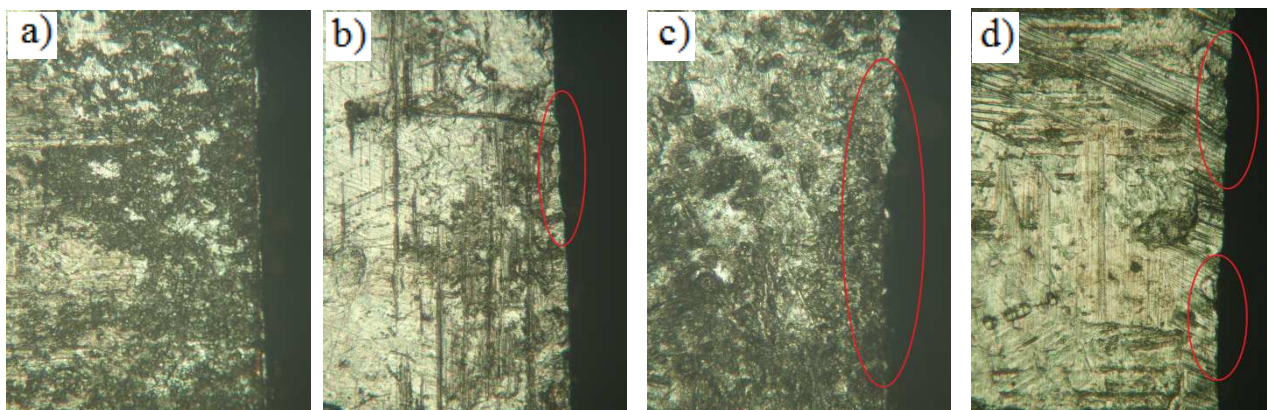


Obrázek 29 - Makrosnímek profilu děleného PVD sadou nástrojů (1. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x  
a) strana A, b) strana B

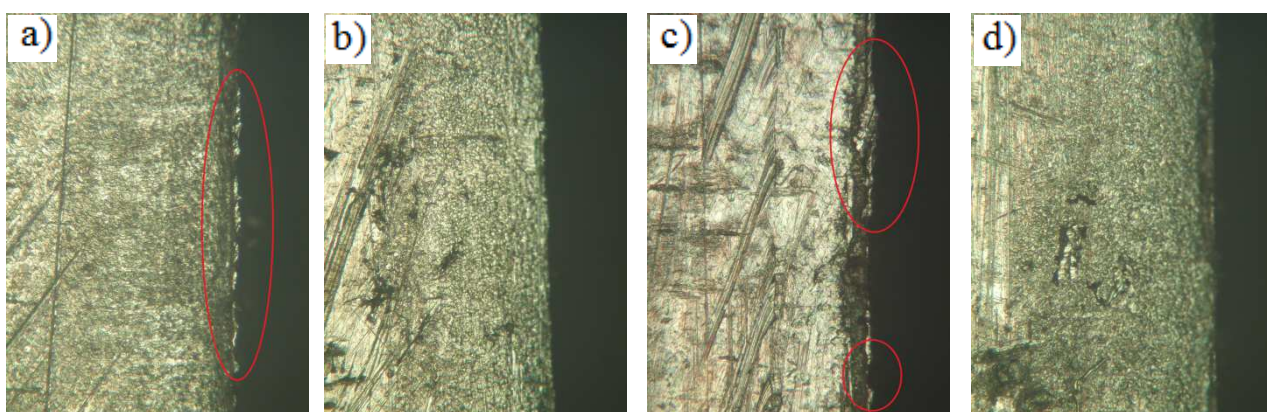


Obrázek 30 - Makrosnímek profilu děleného PVD sadou nástrojů (2. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x  
a) strana A, b) strana B

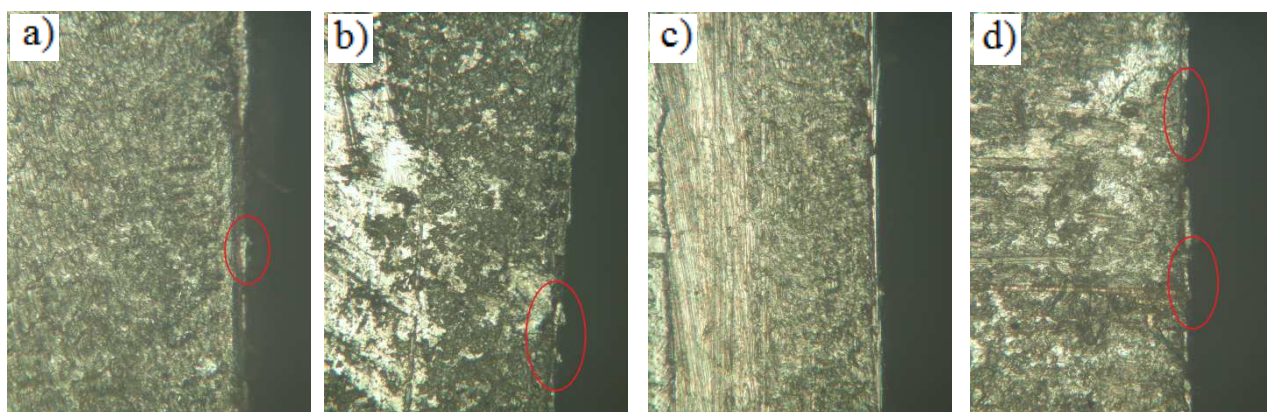




Obrázek 31 - Makrosnímek profilu děleného broušenou sadou nástrojů (boční plocha) se zvětšením 80x  
a) strana A (1. kus), b) strana B (1. kus), c) strana A (2. kus) , d) strana B (2. kus)



Obrázek 32 - Makrosnímek profilu děleného lapovanou sadou nástrojů (boční plocha) se zvětšením 80x  
a) strana A (1. kus), b) strana B (1. kus), c) strana A (2. kus), d) strana B (2. kus)



Obrázek 33 - Makrosnímek profilu děleného PVD sadou nástrojů (boční plocha) se zvětšením 80x  
a) strana A (1. kus), b) strana B (1. kus), c) strana A (2. kus), d) strana B (2. kus)

## Vyhodnocení kvality střížné plochy

Z výsledků makrosnímků získaných na čelní ploše vyplývá, že na straně A není stříh tak čistý, jako na straně B. U profilu děleného broušenou sadou nástrojů byly výraznější stopy po nástroji pouze na prvním vzorku, a to na obou stranách (viz. Obr. 25). U vzorku děleného lapovanou sadou nástrojů byla zjištěna výrazná stopa po nástroji pouze na straně A, profilu z konce výroby (viz. Obr. 28). Profil dělený povlakovanou sadou nástrojů vykazoval největší stopy po nástroji na prvním vzorku na straně A, a na vzorku z konce výroby, a to na obou stranách (viz. Obr. 29 a obr. 30).

Při posuzování boční strany děleného profilu pak byly registrovány nejvýraznější nedokonalosti stříhu u vzorků dělených broušenými nástroji (viz. Obr. 31). U profilů dělených lapovanou sadou byly viditelné nejvýraznější nerovnosti pouze na stranách A, jak u profilu ze začátku výroby, tak i u profilu z konce výroby (viz. Obr. 32). Nejmenší nedokonalosti stříhu při bočním posouzení jsem zjistil u profilů dělených sadou nástrojů, které byly opatřeny PVD povlakem (viz. Obr. 33). Tyto deformace zde byly oproti vzorkům děleným broušenou a lapovanou sadou minimální.

## 10 Ekonomické zhodnocení

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny konečné ceny nástrojů i s cenami jednotlivých operací, které byly na nástrojích provedeny. Všechny ceny jsou uvedeny s DPH.

### Cenové srovnání střížníků

Tabulka 46 - Ceny střížníků

Operace	Typ střížnic		
	Broušené (ceny za 2 ks)	Lapované (ceny za 2 ks)	PVD (ceny za 2 ks)
<b>Materiál</b>	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
<b>Soustružení</b>	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
<b>Vrtání</b>	1 400,00 Kč	1 400,00 Kč	1 400,00 Kč
<b>Tpelné zpracování</b>	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
<b>Broušení</b>	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
<b>Lapování</b>	x	2 000,00 Kč	x
<b>Řezání drátovou elektrodou</b>	16 000,00 Kč	16 000,00 Kč	16 000,00 Kč
<b>Povlakování</b>	x	x	6 897,00 Kč
<b>Celková cena za 2 ks</b>	<b>25 400,00 Kč</b>	<b>27 400,00 Kč</b>	<b>32 297,00 Kč</b>

### Cenové srovnání střížnic

Tabulka 47 - Ceny střížnic

Operace	Typ střížníku		
	Broušený (cena za 1 ks)	Lapovaný (cena za 1 ks)	PVD (cena za 1 ks)
<b>Materiál</b>	800,00 Kč	800,00 Kč	800,00 Kč
<b>Frézování</b>	800,00 Kč	800,00 Kč	800,00 Kč
<b>Tpelné zpracování</b>	800,00 Kč	800,00 Kč	800,00 Kč
<b>Broušení</b>	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
<b>Lapování</b>	x	1 000,00 Kč	x
<b>Povlakování</b>	x	x	2 952,00 Kč
<b>Celková cena za 1 ks</b>	<b>4 400,00 Kč</b>	<b>5 400,00 Kč</b>	<b>7 352,00 Kč</b>

Jak již vyplývá z výše uvedených tabulek, tak nejnižší cena byla u broušených nástrojů. U lapovaných nástrojů byla cena navýšena o cenu lapování. Rozdíl mezi cenou broušených a lapovaných nástrojů je minimální. Naopak nejvyšší cena byla zaznamenána u povlakovaných nástrojů.

## **Závěr**

Tato bakalářská práce byla zaměřena na povrchové úpravy střižných nástrojů, které se používají při dělení tenkostěnných otevřených profilů. V teoretické části bylo zmíněno jaké způsoby dělení se současně používají a jaké mají výhody či nevýhody. Dále zde bylo pár slov o materiálu děleného profilu a materiálu nástroje. V té samé části bylo také zmíněno, mazivo, střižná vůle a tři povrchové úpravy provedené na nástrojích, a to broušení, lapování a aplikace PVD povlaku.

V experimentální části potom byly provedeny zkoušky a měření na jednotlivých sadách nástrojů a dělených profilech. Každá sada nástrojů se skládala ze dvou střižnic a jednoho střižníku totožné povrchové úpravy. K dispozici tedy byly tři sady, jedna sada nástrojů broušených, druhá sada nástrojů lapovaných a třetí sada nástrojů povlakovaných. Na každé této sadě proběhla ještě před samotným měřením výroba 4 000 metrů profilu GE 8706. Z výroby byly také odebrány vzorky děleného profilu. Pro každou sadu byly odebrány dva vzorky, kdy první vzorek pocházel ze začátku výroby a druhý vzorek z konce výroby.

Na nástrojích bylo provedeno měření drsnosti, které však muselo proběhnout pouze na opotřebovaných nástrojích. Příčinou byla pozdní dodávka povlakovaných nástrojů, která byla doprovázena náhlou zakázkou na výrobu profilu, u něhož probíhalo posuzování daných střižných nástrojů. Z tohoto důvodu se porovnávali hodnoty drsnosti povrchů opotřebovaných nástrojů mezi sebou, protože již nebylo možné zjistit hodnoty drsnosti povrchů před opotřebováním. Toto měření proběhlo na obou stranách střižníku a na jedné straně každé střižnice, a to straně, která přiléhala ke střižníku. Samotné měření pak bylo uskutečněno v podélném a příčném směru. Výsledky měření jsem následně sestavil do tabulek a grafů. Ze vzájemného porovnání výsledků bylo pak patrné, že opotřebování na obou stranách střižníku, jak v podélném, tak i v příčném směru bylo srovnatelné. Dále bylo zjištěno, že opotřebování střižníku opatřeného PVD povlakem bylo téměř stejné jako opotřebování nástroje broušeného, s tím že k nejmenšímu opotřebování došlo na lapovaném střižníku. Výjimkou však byly rozdíly mezi maximální a minimální hodnotou  $R_z$  a  $R_p$  u povlakovaného střižníku, které byly oproti broušenému střižníku téměř dvojnásobné, konkrétně na straně B v podélném směru a na straně A v příčném směru. Měření drsnosti bylo též provedeno na střižnicích, a to opět ve směru podélném a příčném. Zde bylo zjištěno, že střižnice A jsou více opotřebované, než střižnice B.

Dále jsem zjistil, že opotřebení střížnic povlakovaných je v podélném směru větší, než opotřebení střížnic broušených. V příčném směru byly výsledky téměř srovnatelné. Z porovnání střížných hran střížníků pod mikroskopem vyšlo najevo, že nejvíce poškozená je střížná hrana střížníku broušeného a nejméně hrana střížníku lapovaného. Střížná hrana střížníku povlakovaného pak vykazovala větší nerovnosti, než střížná hrana lapovaného nástroje. Další experimentální prací bylo měření tloušťky povlaku. Toto měření bylo uskutečněno na vzorku, který byl přítomný v procesu povlakování. Měření totiž nemohlo být provedeno na nástrojích, a to z důvodu jejich hmotnosti, a také proto, že si firma, u které byla bakalářská práce zpracovávána, nepřála tyto nástroje poškodit. Z výsledku kalotestu vyplynulo, že tloušťka nanesené vrstvy je 5,25  $\mu\text{m}$ . Na tom samém vzorku byla provedena i kontrola přilnavosti PVD povlaku vtiskovou metodou, jejímž výsledkem byla hodnota přilnavosti HF1, což označuje nejlepší přilnavost.

Dalšími posuzovanými parametry byl úhel odstřížení děleného profilu, deformace tohoto profilu a posouzení kvality střížné plochy. Co se týká úhlu odstřížení, tak ten byl u všech posuzovaných povrchových úprav stejný. Jeho hodnota byla 89,5°. Dále se posuzovala deformace profilu v místě stříhu a 250 mm od místa stříhu. Vzdálenost 250 mm je totiž uváděna normou ČSN EN 10162 jako vzdálenost, ve které lze provést měření s vyloučením vlivu roztřepených konců od způsobu dělení. Z výsledků jsem zjistil, že konec profilu označovaný jako strana A se deformuje méně, strana B. Výsledky toho měření byly téměř srovnatelné s malým rozdílem deformace úhlů U1 a U2 u profilu děleného povlakovanou sadou nástrojů, a to jak na straně A, tak i na straně B přímo v místě stříhu. Rozměry měřené ve vzdálenosti 250 mm od místa stříhu potom ležely v tolerancích, které udával výkres profilu. Z porovnání kvality čelních střížných ploch pak vyplynulo, že nejmenší stopy po nástroji se nachází na profilech, které byly dělené lapovanými nástroji. U profilů dělených broušenou a povlakovanou sadou byly pak výsledky pro profil ze začátku výroby téměř srovnatelné. Avšak vzorek z konce výroby dělený PVD nástroji vykazoval výrazně horší kvalitu stříhu. Při posuzování kvality stříhu na bočních stranách profilu ale bylo zjištěno, že nerovnosti způsobené stříhem jsou nejmenší u profilu děleného povlakovanými nástroji. Nejvýraznější deformace byly u profilů dělených broušenými nástroji. Vzorky dělené lapovanou sadou nástrojů potom vykazovaly lehce větší nerovnosti než profily dělené PVD sadou nástrojů.

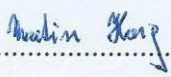
Na základě výsledků, které jsem získal, mohu konstatovat, že z hlediska opotřebení bylo dosaženo nejlepších výsledků u lapované sady nástrojů. U této sady nástrojů bylo taktéž dosaženo nejvyšší kvality stříhu na čelní ploše. Na boční ploše pak byly nerovnosti minimální. Z těchto důvodů bych doporučil společnosti KVARTA LITOVEL, a. s. do budoucna využívat nástroje lapované, u kterých bylo dosaženo nejlepších výsledků. Tyto nástroje jsou příznivé i z cenového hlediska, jejich cena se totiž od současných broušených nástrojů liší jen minimálně.



## Poděkování

Na závěr bych rád poděkoval doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za vedení mé bakalářské práce a cenné odborné rady. Mé poděkování patří též Ing. Daniele Pavelkové za odbornou asistenci při zpracovávání mé bakalářské práce. Také bych rád poděkoval Ing. Petru Dorazilovi za jeho odborné rady z oblasti výroby a dělení tenkostěnných profilů. Rad bych též poděkoval společnosti KVARTA LITOVEL, a. s. , která mi dala možnost zpracovávat toto zajímavé téma.

V Sobáčově : 12.5.2015 .....

  
.....  
podpis

## Citovaná literatura

- [1] **KVARTA LITovel, a.s.** O společnosti. *KVARTA LITovel, a.s.* [Online] 2010. [Citace: 12. Prosinec 2014.] <http://www.kvarta-litovel.cz/o-spolecnosti>.
- [2] **Martin Horáček.** Výroba. *Navrhování tenkostěnných ocelových konstrukcí - Výukové podklady.* [Online] 2012. [Citace: 13. prosinec 2014.] [http://server.kdk.fce.vutbr.cz/Frvs/414\\_2012/vyroba.html](http://server.kdk.fce.vutbr.cz/Frvs/414_2012/vyroba.html).
- [3] **SWAH, s. r. o.** Velké profilovací a válcovací linky. *SWAH s. r. o.* [Online] [Citace: 16. prosinec 2014.] <http://www.swah.cz/cz/velke-profilovaci-linky.htm>.
- [4] **Novotný, Josef a Langer, Zdeněk.** *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů.* Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. ČNB 000163884.
- [5] **ČSN EN 10346.** *Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky - Technické dodací podmínky.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [6] **U. S. Steel Košice, s. r. o.** Plechy ťažných akostí. *U. S. Steel Košice, s. r. o.* [Online] 2005. [Citace: 19. prosinec 2014.] <http://www.usske.sk/products/cat-s/coated/hot-dip/drawing.html>.
- [7] **SWAH, s. r. o.** *Stroj na výrobu ocelových profilů PZ 380/12, Výr. č. 2630 - Návod k používání, provozování a montážní pokyny.* Dobřichovice - Lety : SWAH, s. r. o.
- [8] **JKZ Bučovice, a. s.** Ocel nástrojová pro práce za studena W. Nr. 1.2379. *JKZ Bučovice a. s.* [Online] 2010. [Citace: 22. prosinec 2014.] <http://www.jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12379>.
- [9] **CZECH METAL, s. r. o.** Zušlechťování. *CZECH METAL, s. r. o.* [Online] 2009. [Citace: 22. prosince 2014.] <http://czechmetal.cz/zuslechtovani.html>.
- [10] **Řasa, Jaroslav a Gabriel, Vladimír.** *Strojírenská technologie 3 - Metody, stroje a nástroje pro obrábění.* Praha : Scienta, spol. s. r. o., pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7183-337-1.



- [11] **Bartoňová, Renáta.** Technologie broušení. *Elearning VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice*. [Online] 2012. [Citace: 26. prosinec 2014.] [http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01\\_Technologie\\_brouseni.pdf](http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf).
- [12] **Kraus, Václav.** *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň : Západočeská Univerzita v Plzni, 2000. ISBN 80-7082--668-1.
- [13] **Geistová, Michaela.** Dokončovací metody obrábění. *SPŠ Ostrava - Vítkovice Zengrova 1*. [Online] 5. říjen 2012. [Citace: 1. květen 2015.] <http://www.sps-vitkovice.cz/projekt2/projekt/texty/ZAV/ZAV3-Dokon%C4%8Dovac%C3%AD%20metody%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD-UT.pdf>.
- [14] **Podjuklová, Jitka.** *Speciální technologie povrchových úprav I*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-235-8.
- [15] **SHM Šumperk.** PVD technologie. *SHM Šumperk*. [Online] SHM Šumperk. [Citace: 11. duben 2015.] <http://www.shm-cz.cz/vav-centrum/pvd-technologie/>.
- [16] **Řasa, Jaroslav, Pokorný, Přemysl a Gabriel, Vladimír.** *Strojírenská technologie 3 - Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Praha : Scienta, spol. s r. .o, pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7183-336-3.
- [17] **SHM Šumperk.** ALWIN. *SHM Šumperk*. [Online] SHM Šumperk. [Citace: 7. duben 2015.] <http://www.shm-cz.cz/pvd-povlaky-a-sluzby/pvd-povlaky/alwin/>.
- [18] **Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela.** *Technická diagnostika a spolehlivost – I. Tribodiagnostika*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-883-6.
- [19] **FUCHS.** RENOFORM MZAN 54. *Hazmioil - Tábor*. [Online] [Citace: 28. prosinec 2014.] <http://www.hazmioil.cz/PI/PI2-7318.pdf>.
- [20] **FUCHS.** Metal Forming Oils. *GERMAN FUCHS GROUP*. [Online] [Citace: 28. prosinec 2014.] [http://www.fuchs.com.cn/fuchs/eindex/pro\\_list.asp?type\\_id=313](http://www.fuchs.com.cn/fuchs/eindex/pro_list.asp?type_id=313).

- [21]. **Finda, Luděk a Haltuf, Roman.** Akademie tváření : Stříhání. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] MM Průmyslové spektrum, 17. Květen 2010.  
[Citace: 8. leden 2015.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>.
- [22] **Špinlerová, Marie.** Technologie. *SŠT Opava*. [Online] 2007.  
[Citace: 8. leden 2015.] <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>.
- [23] **ČSN EN ISO 4287.** *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha : Český normalizační institut, 1992.
- [24] **Tichá, Šárka.** Strojírenská metrologie část 1. *Sylaby, elektronické učebnice*. [Online] 2004. [Citace: 30. prosinec 2014.]  
<http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>.
- [25] **ATeam.** Kalotest. *Oddělení povrchového inženýrství*. [Online]  
[Citace: 3. duben 2015.] <http://www.ateam.zcu.cz/kalotest.html>.
- [26] **Forschungsinstitut.** Schichtdickenmessung. *Forschungsinstitut - Edelmetalle + Metallchemie*. [Online] [Citace: 3. duben 2015.] <http://www.fem-online.de/de/content/schichtdickenmessung>.
- [27] **Šíma, Michal a Zindulka, Ondřej.** Měření vlastností povlaků na nástrojích. *Technická univerzita v Liberci - Katedra obrábění a montáže*. [Online] 7. červen 2004. [Citace: 17. leden 2015.]  
<http://www.kom.tul.cz/to/sdilene/merenipovlaku.pdf>.
- [28] **PVD Coatings.** Rockwell adhesion tester. *PVD Coatings*. [Online]  
[Citace: 25. duben 2015.] <https://www.pvd-coatings.co.uk/pvd-coating-technology/testing-equipment/rockwell-adhesion-tester/>.
- [29] **Sosnová, Martina.** Kluzné vrstvy a metody hodnocení adhezivně-kohezivního a tribologického chování. *Oddělení povrchového inženýrství*. [Online] 2006.  
[Citace: 12. květen 2015.]  
[http://www.ateam.zcu.cz/FRVS\\_zprava\\_dalsi\\_studium\\_sosnova.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/FRVS_zprava_dalsi_studium_sosnova.pdf).
- [30] **KVARTA LITOVEL, a. s.** Archiv společnosti KVARTA LITOVEL, a. s.
- [31] **SHM Šumperk.** Archiv společnosti SHM Šumperk.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - a) Profilovací linka na otevřené profily, b) Svařovací profilovací linka .....	10
Obrázek 2 - Pila pro letmé řezání svařovaných profilů .....	13
Obrázek 3 - Pila pro letmé řezání otevřených profilů.....	13
Obrázek 4 - Zařízení pro dělení otevřených profilů stříhem (pohled od linky).....	15
Obrázek 5 - Zařízení pro dělení otevřených profilů stříhem (detailní pohled).....	15
Obrázek 6 - Stříhadlo na profily .....	17
Obrázek 7 - Charakteristika lapování .....	23
Obrázek 8 - Průběh a barva TiCN povlaku.....	26
Obrázek 9 - Střížná vůle a střížná mezera .....	28
Obrázek 10 - Prvek profilu .....	32
Obrázek 11 - a) směr měření střížníku, b) směr měření střížnice.....	33
Obrázek 12 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížník - podélně.....	47
Obrázek 13 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížník - příčně.....	47
Obrázek 14 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížnici - podélně.....	47
Obrázek 15 - Grafické porovnání výsledků drsnosti pro střížnici - příčně.....	47
Obrázek 16 - Makrosnímek broušeného střížníku - a) zvětšení 80x, b) zvětšení 200x .....	49
Obrázek 17 - Makrosnímek lapovaného střížníku - a) zvětšení 80x, b) zvětšení 200x .....	49
Obrázek 18 - Makrosnímek PVD střížníku - a) zvětšení 80x, b) zvětšení 200x .....	49
Obrázek 19 - Kalotest .....	50
Obrázek 20 - Snímek kaloty PVD povlaku Alwin .....	50
Obrázek 21 - Vyhodnocení přilnavosti PVD povlaku pomocí Mercedes testu - a) na základě odloupenutí povlaku, b) na základě vzniku trhlin v místě vtisku .....	51
Obrázek 22 - Snímek vpichu pro zkoušku adheze PVD povlaku.....	52
Obrázek 23 - Označení stran děleného profilu .....	52
Obrázek 24 - Měřené rozměry .....	53
Obrázek 25 - Makrosnímek profilu děleného broušenou sadou nástrojů (1. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x a) strana A, b) strana B.....	55
Obrázek 26 - Makrosnímek profilu děleného broušenou sadou nástrojů (2. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x a) strana A, b) strana B.....	55
Obrázek 27 - Makrosnímek profilu děleného lapovanou sadou nástrojů (1. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x a) strana A, b) strana B.....	56

Obrázek 28 - Makrosnímek profilu děleného lapovanou sadou nástrojů (2. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x a) strana A, b) strana B.....	56
Obrázek 29 - Makrosnímek profilu děleného PVD sadou nástrojů (1. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x a) strana A, b) strana B.....	56
Obrázek 30 - Makrosnímek profilu děleného PVD sadou nástrojů (2. kus - čelní plocha) se zvětšením 25x a) strana A, b) strana B.....	56
Obrázek 31 - Makrosnímek profilu děleného broušenou sadou nástrojů (boční plocha) se zvětšením 80x a) strana A (1. kus), b) strana B (1. kus), c) strana A (2. kus) , d) strana B (2. kus).....	57
Obrázek 32 - Makrosnímek profilu děleného lapovanou sadou nástrojů (boční plocha) se zvětšením 80x a) strana A (1. kus), b) strana B (1. kus), c) strana A (2. kus), d) strana B (2. kus).....	57
Obrázek 33 - Makrosnímek profilu děleného PVD sadou nástrojů (boční plocha) se zvětšením 80x a) strana A (1. kus), b) strana B (1. kus), c) strana A (2. kus), d) strana B (2. kus).....	57

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Chemické složení DX51D+Z100 .....	16
Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti DX51D+Z100.....	16
Tabulka 3 - Chemické složení materiálu ČSN 19 573.....	18
Tabulka 4 - Tvrdost materiálu ČSN 19 57.....	18
Tabulka 5 - Možnosti tepelného zpracování materiálu ČSN 19 573.....	19
Tabulka 6 - Parametry dosahované při broušení na rovinných bruskách .....	21
Tabulka 7 - Dosahované parametry při lapování rovinných ploch .....	23
Tabulka 8 - Parametry TiCN povlaku .....	26
Tabulka 9 - Vlastnosti RENOFORM MZAN 54 .....	27
Tabulka 10 - Tabulka pro stanovení střížné vůle .....	29
Tabulka 11 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník A - podélně.....	34
Tabulka 12 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník B - podélně .....	34
Tabulka 13 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník A - podélně.....	35
Tabulka 14 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník B - podélně .....	35
Tabulka 15 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník A - podélně.....	36
Tabulka 16 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník B - podélně.....	36
Tabulka 17 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník A - příčně.....	37
Tabulka 18 - Výsledky měření drsnosti pro broušený střížník B - příčně.....	37
Tabulka 19 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník A - příčně.....	38
Tabulka 20 - Výsledky měření drsnosti pro lapovaný střížník B - příčně.....	38
Tabulka 21 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník A - příčně .....	39
Tabulka 22 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížník B - příčně.....	39
Tabulka 23 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici A - podélně .....	40
Tabulka 24 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici B - podélně .....	40
Tabulka 25 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici A - podélně .....	41
Tabulka 26 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici B - podélně .....	41
Tabulka 27 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici A - podélně.....	42
Tabulka 28 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici B - podélně .....	42
Tabulka 29 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici A - příčně.....	43
Tabulka 30 - Výsledky měření drsnosti pro broušenou střížnici B - příčně.....	43
Tabulka 31 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici A - příčně.....	44
Tabulka 32 - Výsledky měření drsnosti pro lapovanou střížnici B - příčně.....	44
Tabulka 33 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici A - příčně .....	45

Tabulka 34 - Výsledky měření drsnosti pro PVD střížnici B - příčně.....	45
Tabulka 35 - Porovnání výsledků drsnosti střížníků - podélně .....	46
Tabulka 36 - Porovnání výsledků drsnosti střížníků - příčně .....	46
Tabulka 37 - Porovnání výsledků drsnosti střížnic - podélně.....	46
Tabulka 38 - Porovnání výsledků drsnosti střížnic - příčně .....	46
Tabulka 39 - Parametry zkoušky adheze PVD povlaku .....	52
Tabulka 40 - Výsledky měření pro stranu profilu A.....	53
Tabulka 41 - Výsledky měření pro stranu profilu B .....	53
Tabulka 42 - Výsledky měření pro stranu A - měřeno v místě stříhu .....	54
Tabulka 43 - Výsledky měření pro stranu A - měřeno 250 mm od místa stříhu .....	54
Tabulka 44 - Výsledky měření pro stranu B - měřeno v místě stříhu.....	54
Tabulka 45 - Výsledky měření pro stranu B - měřeno 250 mm od místa stříhu .....	54
Tabulka 46 - Ceny střížníků.....	59
Tabulka 47 - Ceny střížnic.....	59

## Seznam příloh

Příloha 1 - Hutní atest .....	72
Příloha 2 - Profilovací linka PZ 380/12 .....	73
Příloha 3 - Výkres střížnice .....	74
Příloha 4 - Výkres střížníku .....	75
Příloha 5 - Výkres profilu GE 8706.....	76
Příloha 6 - Fotodokumentace střížníků před výrobou .....	77
Příloha 7 - Fotodokumentace střížnic před výrobou.....	78
Příloha 8 - Fotodokumentace střížníků po výrobě.....	79
Příloha 9 - Fotodokumentace střížnic po výrobě .....	80
Příloha 10 - Protokol s výsledky tloušťky povlaku a vyhodnocením adheze povlaku.....	81
Příloha 11 - Fotodokumentace dělených profilů.....	82

# Přílohy

## Příloha 1 - Hutní atest [30]

Nešpecifický atest podľa EN 10 204-2.2

U.S. Steel Košice, s.r.o. Vstupný areál U.S. Steel 044 54 Košice SLOVAK REPUBLIC	Číslo objednávky: 729PCDF4/01C Číslo zákazky: KE421564 Číslo faktúry: 14/413287 01 Vaša objednávka: NO-KE1400012	METAL TRADE COMAX, a.s.  Velvary 420 27324 VELVARY Czech republic
---	---	---

HUTNÝ ATEST (Číslo): 14/413287 01

Názov výrobku: PLECHY POZINKOVANE Z 100 g/m2;MA;C	VO ZVITKOCH	Rozmery: 1,850 x 1236,0 mm EN 10143/06
Norma: EN 10346/09		
Akôst: DX51D+Z	Číslo lož.l.: 80233901	Net hmotnosť: 42 150 kg

Čís.jed.	Čís.zvit.	Tavba	Čís.jed.	Čís.zvit.	Tavba
535014600	5350146	53501	535034300	5350343	53503
535025000	5350250	53502	536213200	5362132	53621
535034200	5350342	53503			

V Ý S L E D K Y M E C H A N I C K Ý C H S K Ú Š O K

	Min. / Max.	Číslo zvitku 5350146	Číslo zvitku 5350250	Číslo zvitku 5350342	Číslo zvitku 5350343	Číslo zvitku 5362132
Pevnosť v ťahu-Rm(1) (MPa)	270/500	346	348	357	357	348
Ťažnosť A80(1) (%)	22,0/	38,0	38,0	38,0	38,0	39,5
Hmotnosť povlaku Zn (Gm2)	100/	165	161	165	165	163

Smer odberu: (1)-priechy;

C H E M I C K É Z L O Ž E N I E, %

	Min. / Max.	Čís.tavby 53501	Čís.tavby 53502	Čís.tavby 53503		Min. / Max.	Čís.tavby 53501	Čís.tavby 53502	Čís.tavby 53503
C	/0,18	0,04	0,04	0,04	Mn	/1,20	0,18	0,18	0,19
Si	/0,50	0,01	0,01	0,01	P	/0,120	0,015	0,015	0,015
S	/0,045	0,013	0,013	0,010	Ti	/0,300	0,001	0,001	0,001

C H E M I C K É Z L O Ž E N I E, %

	Min. / Max.	Čís.tavby 53621		Min. / Max.	Čís.tavby 53621
C	/0,18	0,03	Mn	/1,20	0,26
Si	/0,50	0,01	P	/0,120	0,013
S	/0,045	0,007	Ti	/0,300	0,001

Dovolený limit hmotnostnej aktivity pre tavbové vzorky je do 300 Bq/kg na základe odporúčania IAEA. 607 Posl.str.: 1  
F-USM/0063-04/10-03-12

Nameraná hmotnostná aktivita rádionuklidov Co60 + Cs137 nie je väčšia ako 100 Bq/kg.

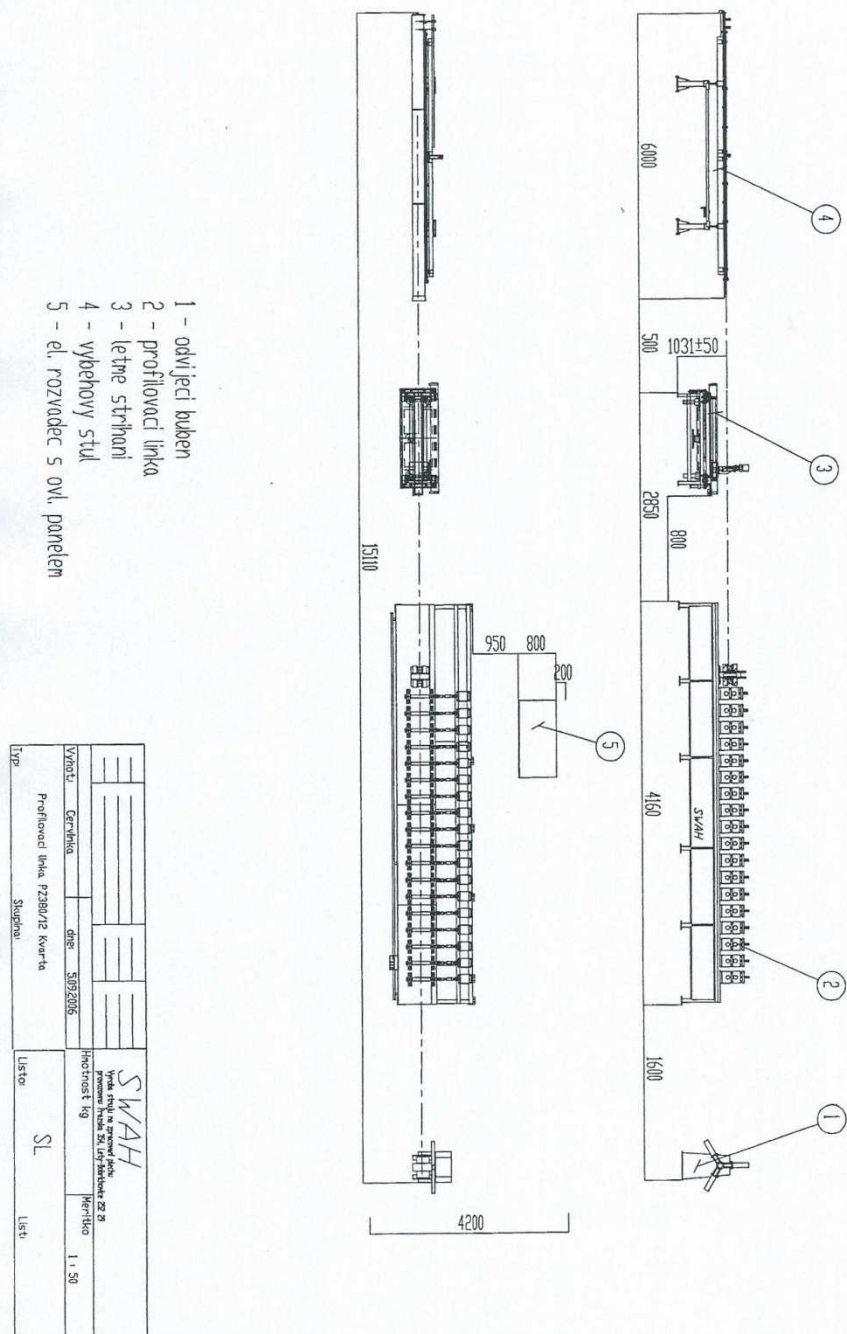
Košice: 18.02.2014, 7:31:52 MATERIÁL JE V ZHODE S POŽIADAVKAMI OBJEDNÁVKY.

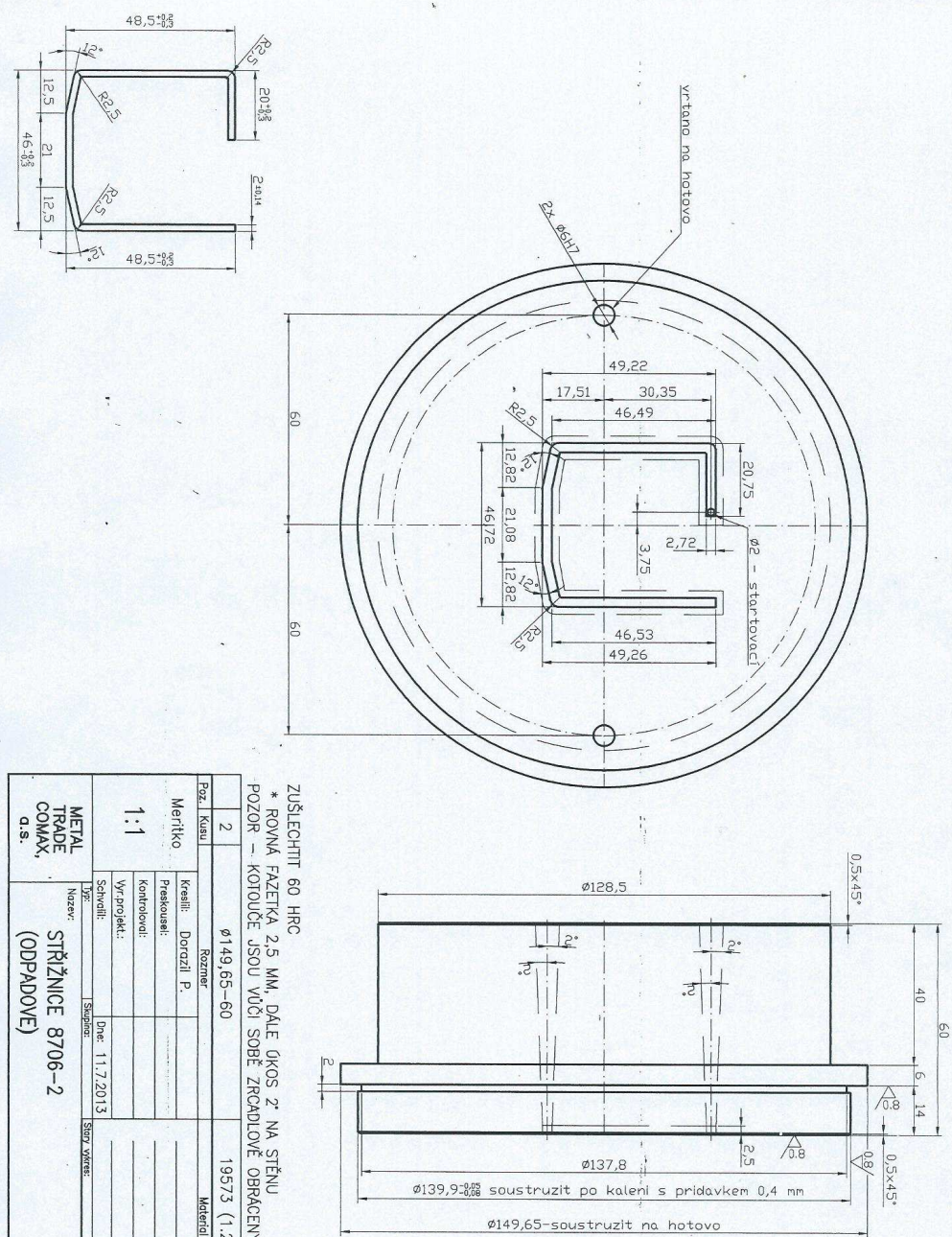
JOZEF ČERVENÁK,OPRÁVNENÝ ZÁSTUPCA KONTROLY. e-mail:jcervenak@sk.uss.com, tel.:+421-55-6737464

DARINA BERNÁTOVÁ,OPRÁVNENÝ ZÁSTUPCA KONTROLY. e-mail:dbernatoval@sk.uss.com, tel.:+421-55-6732373

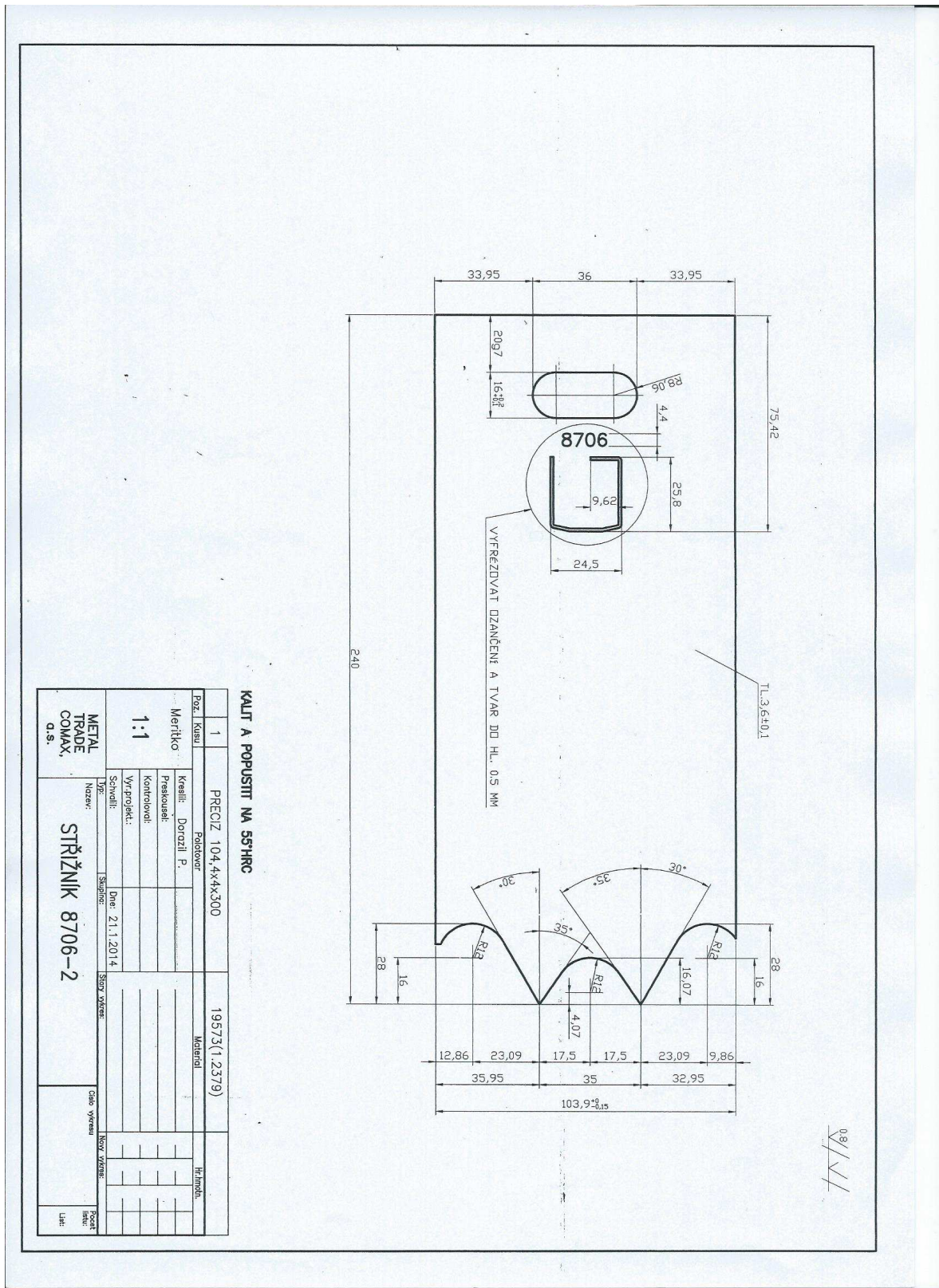
U. S. Steel Košice, s.r.o. Vstupný areál U. S. STEEL Odbor Analýzy kvality a špecifikácie Uvoľňovanie výrobkov a Hutné atesty 044 54 Košice	02
---	----

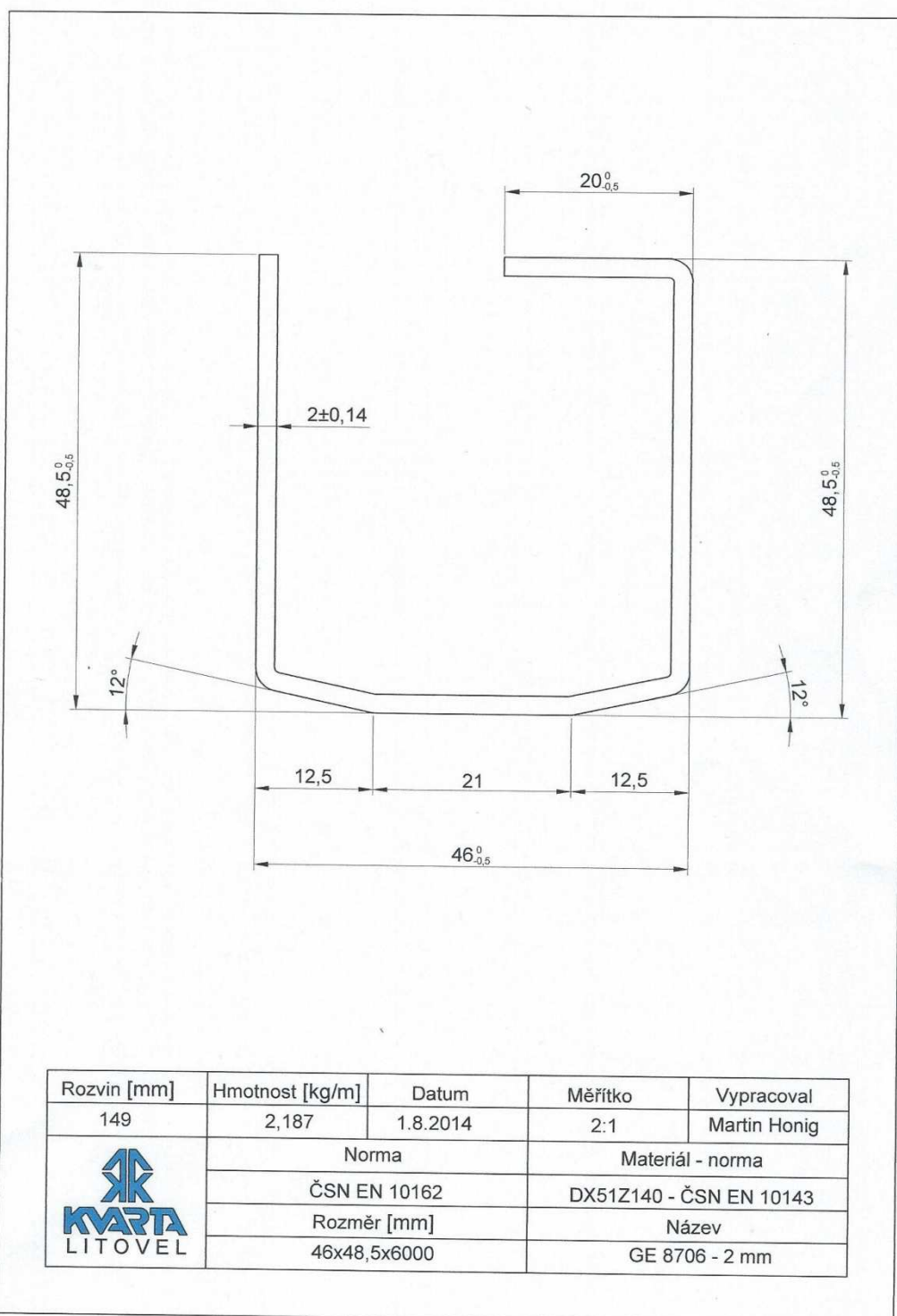





$$\frac{1.6}{0.8}$$

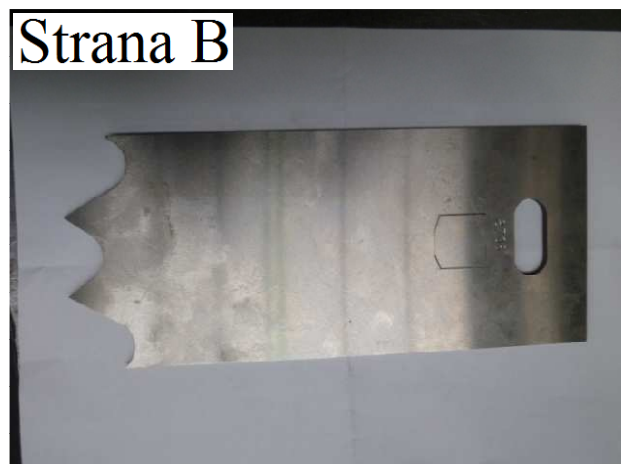
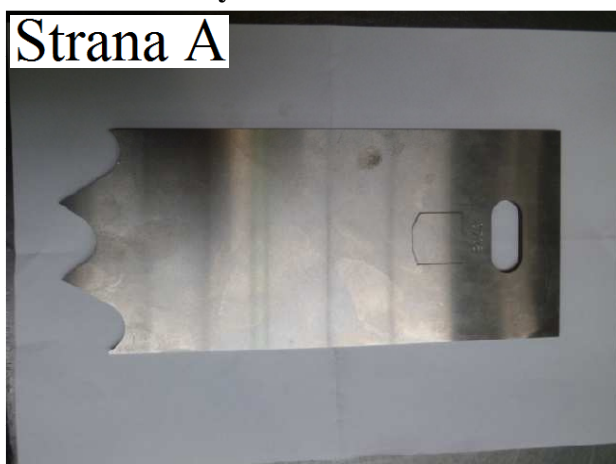






**Příloha 6 - Fotodokumentace střížníků před výrobou**

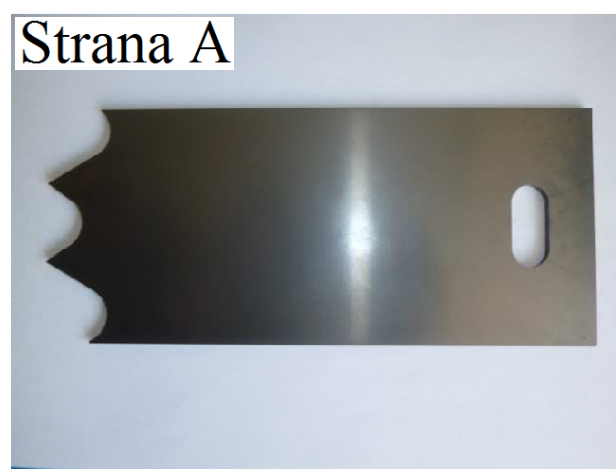
**Broušený střížník**



**Lapovaný střížník**



**Povlakovaný střížník**





**Broušené střížnice**

**Střížnice A**

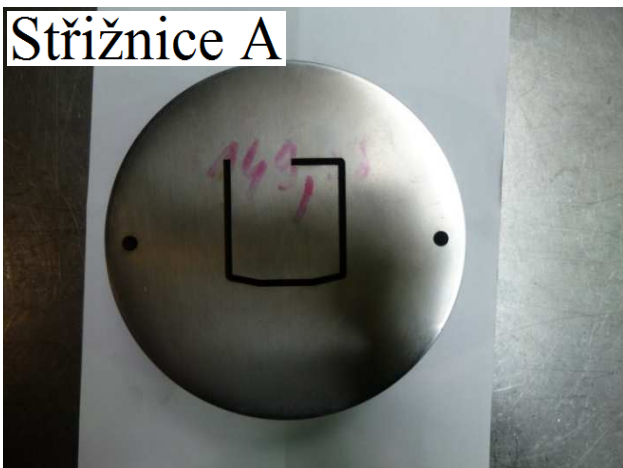


**Střížnice B**

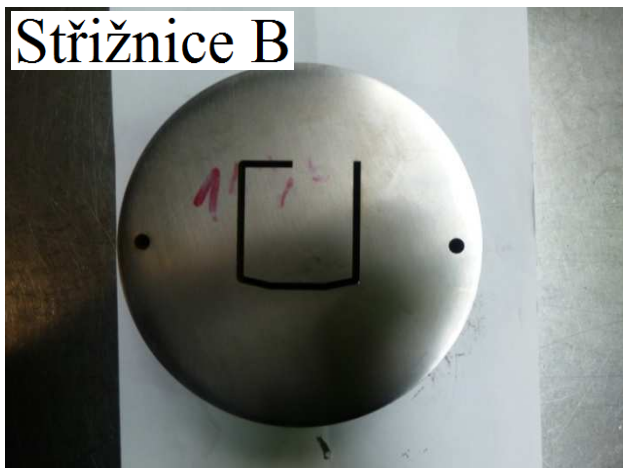


**Lapované střížnice**

**Střížnice A**



**Střížnice B**



**Povlakované střížnice**

**Střížnice A**

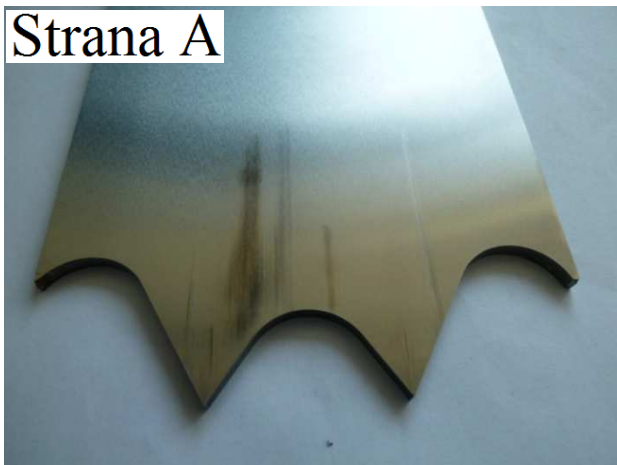


**Střížnice B**



**Broušený střížník**

**Strana A**

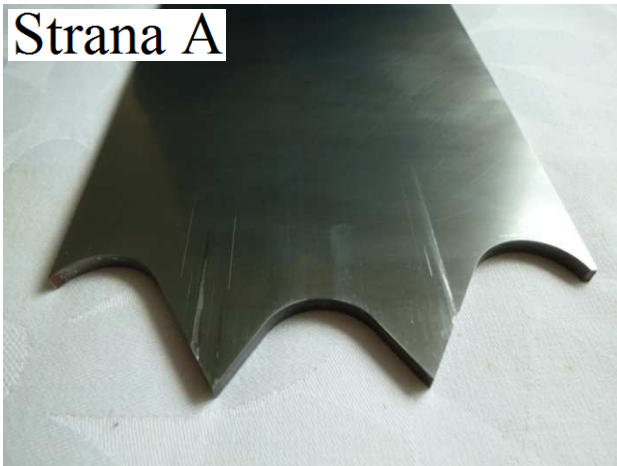


**Strana B**

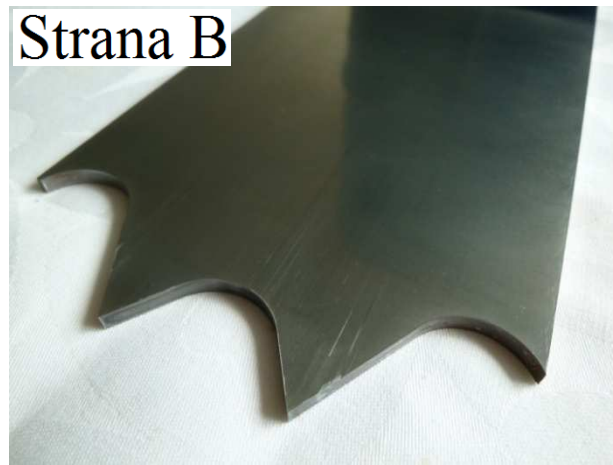


**Lapovaný střížník**

**Strana A**



**Strana B**

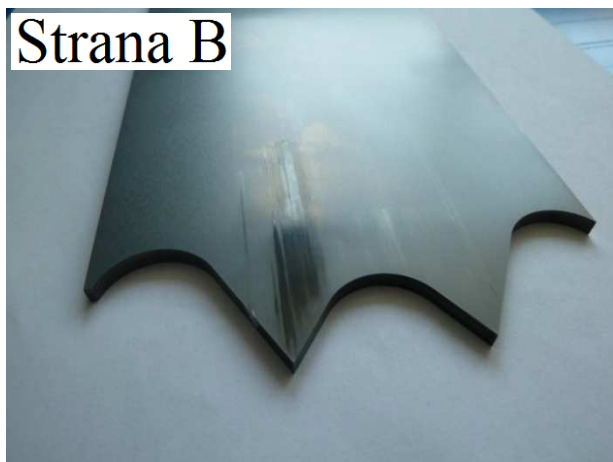


**Povlakovaný střížník**

**Strana A**

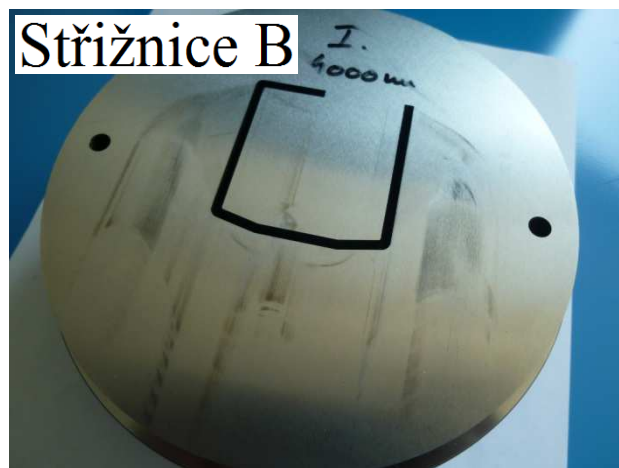


**Strana B**

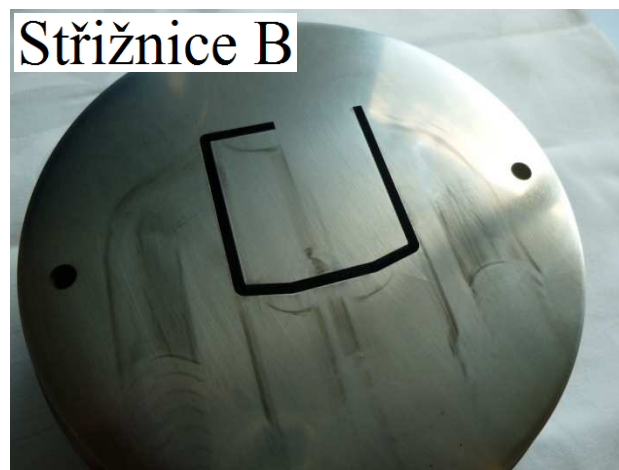




**Broušené střížnice**



**Lapované střížnice**



**Povlakované střížnice**





SHM, s.r.o., Průmyslová 3, 787 01 Šumperk, Tel: 583 241176, 241438, Fax: 583 241304, e-mail: shm@shm-cz.cz

**Protokol k povlaku: Alwin**  
**Zákazník: Metal Trade Comax**

**Proces č.:**1522-0130

**Zařízení:**Pi411

**R břitu:**

měřicí zařízení: Mikro CAD<sup>+</sup> lite

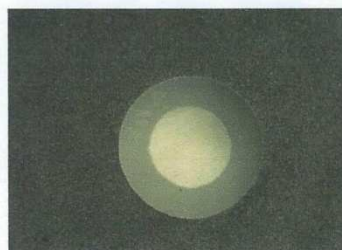
R<sub>před rekt.</sub> =

R<sub>po rekt.</sub> =

**Tloušťka:**

měřicí zařízení: Kalotest Platit CT50, Lucia Net

Th. = 5,25 µm



**Rockwell:**

měřicí zařízení: tvrdoměr Rockwell Rapid RR-IV

Zátěžná síla 150kg, doba zatížení 10s

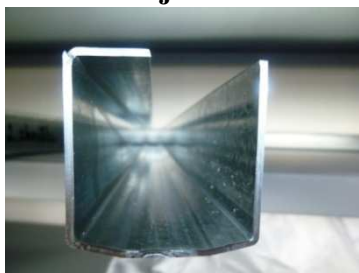
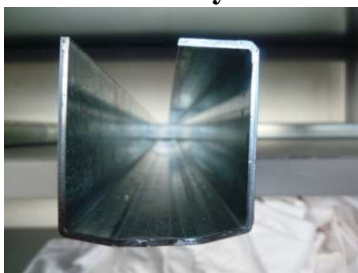
HF1+O0



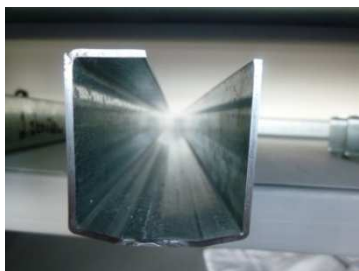
V Šumperku: 15.4.2015

Vypracoval: A. Frolíková

**Profil dělený broušenou sadou nástrojů**

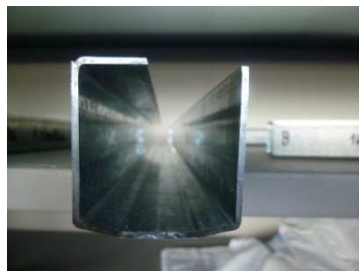
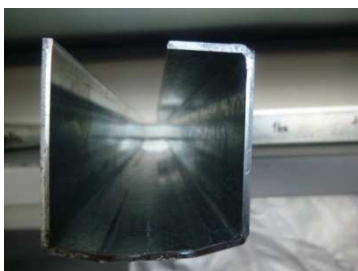


1 . vzorek  
strana A / strana B

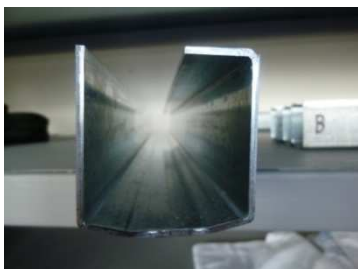


2. vzorek  
strana A / strana B

**Profil dělený lapovanou sadou nástrojů**



1 . vzorek  
strana A / strana B

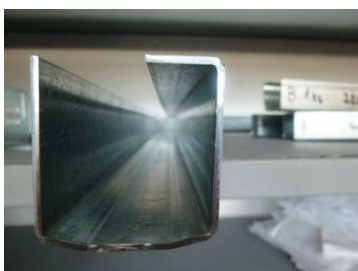


2. vzorek  
strana A / strana B

**Profil dělený povlakovanou sadou nástrojů**



1 . vzorek  
strana A / strana B



2. vzorek  
strana A / strana B